

А. С. Партин
В. Г. Борисов

Введение в цифровую технику

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1105

А.С.Партин
В.Г.Борисов

Введение в цифровую технику



Москва
«Радио и связь» 1987

ББК 32.847
П 18
УДК 621.3.049.77.037.372

Партин А. С., Борисов В. Г.
П 18 Введение в цифровую технику.— М.: Радио и связь, 1987.— 64 с.: ил.— (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1105)

Через опыты, эксперименты, конструирование генераторов, игровых автоматов и аттракционов, электронных переключателей, измерительных приборов на интегральных микросхемах широкого применения книга знакомит с основами цифровой техники.

Для широкого круга радиолюбителей, может быть полезна руководителям радиотехнических кружков.

П $\frac{2402020000\text{-}64}{046(01)\text{-}87}$ 73-87 ББК 32.847

Рецензент канд. техн. наук С. А. Бирюков

Научно-популярное издание

АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ ПАРТИН
ВИКТОР ГАВРИЛОВИЧ БОРИСОВ

ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ТЕХНИКУ

Руководитель группы МРБ И. Н. Суслова
Редактор И. Н. Суслова
Художественный редактор Н. С. Шеин
Технический редактор А. Н. Золотарева
Корректор Т. Л. Кускова

ИБ № 1292

Сдано в набор 27.08.86. Подписано в печать 14.01.87. Т-23581. Формат 60×90/16. Бумага газетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная Усл. печ. л. 4,0. Усл. кр.-отт. 4,375. Уч.-изд. л. 6,01. Изд. № 21320 Зак. № 3017. Цена 45 коп.
Издательство «Радио и связь». 101000. Москва, Почтамт, а/я 693

Набрано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, Валовая, 28

Печать и изготовление тиража в ордена «Знак Почета» типографии издательства «Московская правда», 123845, ГСП, Москва, ул. 1905 года, 7 Зак. 4072. Доп. тир. 1000 000.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Микроэлектроника, заявившая о себе в начале 60-х годов, сегодня оказывает решающее влияние на техническое перевооружение всех областей радиоэлектроники. За примерами ходить далеко нет надобности. Аналоговые интегральные микросхемы широко и прочно закрепились в радиовещательной, телевизионной, звукозаписывающей в воспроизводящей аппаратуре, а логические, или цифровые, микросхемы заняли доминирующее положение в больших, мини- и микроЭВМ, в устройствах автоматического управления производственными процессами, движением транспорта, в станках с числовым программным управлением, в аппаратуре сбора, переработки и хранения различной информации, в других устройствах и приборах цифровой техники. Для нас уже стали привычными электронные кассовые аппараты, быстро и точно подсчитывающие стоимость покупок в универсамах, весы с цифровым представлением результата взвешивания продуктов, автоматизированные системы управления продажей авиа- и железнодорожных билетов, наручные электронные часы, микрокалькуляторы, ставшие предметами первой необходимости инженеров и техников, бухгалтеров, многих школьников.

Цифровая техника — самое перспективное направление в современной электронике, в народном хозяйстве. Без нее немыслимы дальнейший научно-технический прогресс, эффективность учебы в общеобразовательных школах, ПТУ, техникумах, институтах и университетах. Вряд ли нужно доказывать, какие огромные возможности вносит цифровая техника в радиолюбительское творчество.

Цель книги — познакомить ее читателей с цифровыми интегральными микросхемами и использованием их в разных по сложности любительских приборах и устройствах цифровой техники. Предполагается, что читатели уже знакомы с устройством и принципом работы транзисторов, диодов и имеют некоторый опыт конструирования радиоприемной и усилительной аппаратуры, поэтому их описание в книге опущено. Главным же ее содержанием являются опыты, эксперименты, которые, как мы считаем, позволяют лучше освоить практическую сторону применения цифровых микросхем.

При изложении познавательных сведений и сложности практических работ мы опирались на опыт кружков радиоэлектроники Свердловской областной станции юных техников. Этот опыт, надеемся, может быть приемлемым для кружков других внешкольных учреждений и общеобразовательных школ, занимающихся освоением основ цифровой техники.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь», Массовая радиобиблиотека.

ЧТО ТАКОЕ ЦИФРОВАЯ МИКРОСХЕМА

Современная цифровая интегральная микросхема — это миниатюрный электронный блок, содержащий в своем корпусе транзисторы, диоды, резисторы и другие активные и пассивные элементы, общее число которых может достигать нескольких десятков и даже сотен тысяч! В зависимости от числа элементов различают микросхемы малой степени интеграции, микросхемы средней степени интеграции, большие интегральные микросхемы и сверхбольшие интегральные микросхемы. Микросхемы малой степени интеграции могут содержать до 10—30, а сверхбольшие интегральные микросхемы до 100 тыс. и более активных и пассивных элементов.

Одна цифровая микросхема может выполнять функцию целого блока измерительного прибора, микрокалькулятора, устройства автоматического управления производственным процессом, микропроцессора, узла электронной вычислительной машины (ЭВМ). К примеру, «механизм» наручных электронных часов, индицирующих текущее время в часах, минутах и секундах, дни недели и месяцы, работающий одновременно и как секундомер, будильник, состоит всего лишь из одной специально разработанной большой интегральной микросхемы. Благодаря цифровым микросхемам современные компьютеры, как все чаще стали называть ЭВМ, по сравнению со своими «предками» в 300 тыс. раз меньше по размерам, но работают в 10 тыс. раз быстрее, к тому же надежнее, и энергии потребляют значительно меньше.

В основу описания и логики действия цифровых микросхем положена двоичная система счисления, состоящая всего из двух цифр — единицы (1) и нуля (0). Отсюда и обобщенное название логических элементов, интегральных микросхем и создаваемых на их базе всевозможных приборов и устройств — цифровые. Эти две цифры двоичной системы счисления позволяют записывать и «запоминать» практически любые числа. Например, число 25 привычной нам десятичной системы счисления, записанное в двоичной системе счисления, выглядит так: 11001. Здесь каждая позиция числа, которая может быть представлена в виде электрических импульсов, соответствует одному из двух логических состояний — логической 1 или логическому 0. Особенно удобной такая система кодирования информации оказалась для программирования и работы ЭВМ.

Относительно электрических сигналов, несущих ту или иную цифровую информацию, двоичная система счисления также соответствует двум состояниям или двум условным электрическим уровням: высокому, т. е. более положительному, и низкому — менее положительному, нулевому и даже отрицательному напряжению. Если напряжение высокого уровня рассматривать как логическую 1, а напряжение низкого уровня — как логический 0, то такую логику называют положительной. При отрицательной логике, наоборот, напряжение высокого уровня принимают за логический 0, а низкого уровня — за логическую 1. В этой книге рассматриваются только микросхемы с положительной логикой.

Но на практике невозможно выполнить условие, при котором бы все цифровые сигналы имели одинаковые уровни напряжения. Поэтому, учитывая возможные допуски, свойства цифровых микросхем, электрические импульсы, несущие информацию, характеризуют некоторыми интервалами напряжений. Так, например, для микросхем серий К155, К133 для низкого уровня, соответствующего логическому 0, приняты напряжения сигналов от 0 до 0,4 В, т. е. не более 0,4 В, а высокого, соответствующего уровню логической 1, — не менее 2,4 В и не более напряжения, на которое они рассчитаны, — 5 В. Для микросхем других серий эти границы уровней напряжений могут быть несколько меньшими или, наоборот, несколько бо́льшими, но неизменными для данной серии цифровых микросхем.

Опыты, эксперименты, различные приборы и устройства, описанные в этой книге, рассчитаны на использование микросхем серии К155 малой и средней степеней интеграции. Микросхемы именно этой серии радиолюбители наиболее широко применяют в конструируемых ими генераторах, игровых и сигнализирующих автоматах, электронных часах, из-

мерительных приборах, в том числе с цифровым отсчетом результатов измерения или времени. Подобные устройства и приборы предстоит конструировать и вам, взявшим в руки эту книгу.

В серию К155 входит около 100 микросхем разных степеней интеграции и функционального назначения. Это различные триггеры, счетчики импульсов, делители частоты, преобразователи цифровых кодов, дешифраторы и т. д. Основой же многих из них служат так называемые логические элементы — электронные устройства, реализующие простейшие функции алгебры логики. С них и следует начать знакомство с устройством и работой цифровых микросхем, с основами цифровой техники.

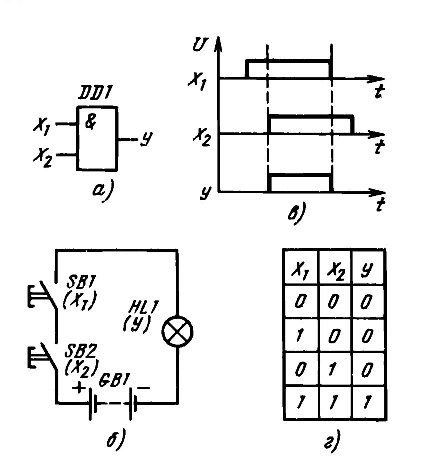
ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ

Логических элементов, работающих как самостоятельные цифровые микросхемы малой степени интеграции и как компоненты микросхем более высокой степени интеграции, можно насчитать несколько десятков. Но здесь мы поговорим лишь о четырех из них — о логических элементах И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ. Элементы И, ИЛИ и НЕ — основные, а И-НЕ является комбинацией элементов И и НЕ.

Что представляют собой эти «кирпичики» цифровой техники, какова логика их действия? Сразу уточним: напряжения от 0 до 0,4 В, т. е. соответствующие уровню логического 0, мы будем называть напряжением низкого уровня, а напряжения более 2,4 В, соответствующие уровню логической 1,— напряжением высокого уровня. Именно такими уровнями напряжений на входе и выходе элементов и микросхем серии К155 принято характеризовать их логические состояния и работу.

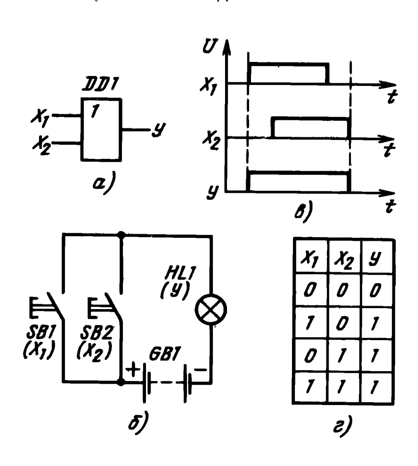
Графическое изображение логического элемента И показано на рис. 1, *а*. Его условным символом служит знак «&», стоящий внутри прямоугольника: он заменяет союз «И» в английском языке. Слева — два (может быть и больше) логических входа — x_1 и x_2, справа — выход у. Логика действия элемента такова. Напряжение высокого уровня появляется на выходе лишь тогда, когда сигналы такого же уровня будут поданы на все его входы.

Разобраться в логике действия логического элемента И поможет его электрический аналог (рис. 1, *б*), составленный из последовательно соединенных источника питания GB1 (например, батареи 3336Л), кнопочных переключателей SB1, SB2 любой конструкции и лампы накаливания HL1 (МН3,5-0,26). Переключатели имитируют электрические сигналы на входе аналога, а нить лампы индицирует уровень сигнала на выходе. Разомкнутое состояние контактов переключателей соответствует напряжениям низкого уровня, замкнутое — высокого уровня. Пока контакты кнопок не замкнуты (на обоих входах элемента напряжение низкого уровня), электрическая цепь аналога разомкнута и лампа, естественно, не горит. Нетрудно сделать другой вывод: лампа накаливания на выходе аналога элемента



X_1	X_2	y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Рис. 1. Логический элемент И:
а — условное графическое обозначение; *б* — его электрический аналог; *в* — временные диаграммы; *г* — таблица истинности работы элемента



X_1	X_2	y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Рис. 2. Логический элемент ИЛИ, его электрический аналог и принцип действия

И загорается тогда и только тогда, когда контакты кнопок SB1 и SB2 окажутся замкнутыми одновременно. В этом и заключается логическая связь между входными и выходным сигналами элемента И.

Теперь взгляните на рис. 1, *в*. На нем изображены временны́е диаграммы электрических процессов, дающие достоверное представление о работе логического элемента И. На входе x_1 сигнал появляется первым. Как только подается такой же сигнал и на вход x_2, тут же появляется сигнал и на выходе y, который существует до тех пор, пока на обоих входах имеются сигналы, соответствующие напряжению высокого уровня.

О состоянии и логической связи между входными и выходными сигналами в элементе И дает представление так называемая таблица истинности (рис. 1, *г*), напоминающая таблицу умножения. Глядя на нее, можно сказать, что сигнал высокого уровня на выходе элемента будет тогда и только тогда, когда сигналы такого же уровня появятся на обоих его входах. Во всех других случаях на выходе элемента будет напряжение низкого уровня.

Условный символ логического элемента ИЛИ — цифра 1 внутри прямоугольника (рис. 2, *а*). У этого элемента, как и у элемента И, может быть два и больше входов. Сигнал на выходе y, соответствующий напряжению высокого уровня, появляется при подаче такого же сигнала на вход x_1, или на вход x_2, или одновременно на оба входа. Чтобы убедиться в таком действии элемента ИЛИ, проведите опыт с его электрическим аналогом (рис. 2, *б*). Лампа накаливания HL1 на выходе аналога будет загораться всякий раз, когда окажутся замкнутыми контакты или кнопки SB1, или SB2, или одновременно обеих (всех) кнопок.

Закрепить в памяти электрическое свойство элемента ИЛИ помогут временны́е диаграммы его работы (рис. 2, *в*) и таблица истинности (рис. 2, *г*) логической связи между входными и выходными сигналами.

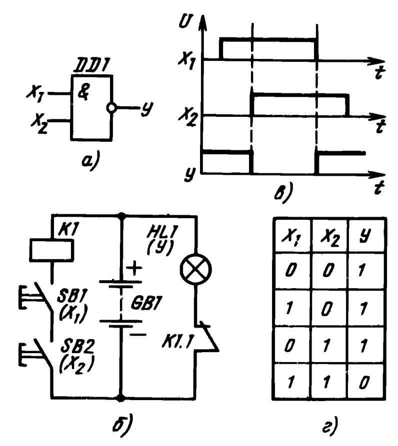
Условный символ логического элемента НЕ — тоже цифра 1 в прямоугольнике (рис. 3, *а*). Но у него один вход и один выход. Небольшой кружок, которым начинается линия связи выходного сигнала, символизирует логическое отрицание «не» на выходе элемента. На языке цифровой техники «не» означает, что данный элемент является инвертором — электронным устройством, выходной сигнал которого противоположен входному. Иначе говоря, пока на его входе действует сигнал низкого уровня, на выходе присутствует сигнал высокого уровня, и наоборот.

Электрический аналог элемента НЕ можно собрать по схеме, приведенной на рис. 3, *б*. Электромагнитное реле К1, срабатывающее при данном напряжении батареи SB1, должно быть с группой нормально замкнутых контактов. Пока контакты кнопки SB1 разомкнуты, обмотка реле обесточена, его контакты К1.1 остаются замкнутыми и, следовательно, лампа HL1 горит. При нажатии на кнопку ее контакты замыкаются, имитируя появление входного сигнала высокого уровня, в результате чего реле срабатывает. Его контакты, размыкаясь, разрывают цепь питания лампы HL1 — погасая, она символизирует появление на выходе сигнала низкого уровня.

Попробуйте начертить самостоятельно временны́е диаграммы работы элемента НЕ и составить таблицу истинности

x	y
0	1
1	0

Рис. 3. Логический элемент НЕ, его электрический аналог и принцип действия



X_1	X_2	y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Рис. 4. Логический элемент И-НЕ, его электрический аналог и принцип действия

логической связи между его входным и выходным сигналами — они должны получиться такими же, как приведенные на рис. 3, *в, г*.

Как мы уже говорили, логический элемент И-НЕ является комбинацией элементов И и НЕ. Поэтому на его графическом изображении (рис. 4, *а*) есть знак «&» и небольшой кружок на линии выходного сигнала, символизирующий логическое отрицание. Выход один, а входов два и больше.

Разобраться в принципе действия такого логического элемента цифровой техники вам поможет его электрический аналог, собранный по схеме на рис. 4, *б*. Электромагнитное реле K1, батарея GB1 и лампа накаливания HL1 такие же, как в аналоге элемента НЕ. Последовательно с обмоткой реле включите две кнопки (SB1 и SB2), контакты которых будут имитировать входные сигналы. В исходном состоянии, когда контакты кнопок разомкнуты, лампа горит, символизируя сигнал высокого уровня на выходе. Нажмите на одну из кнопок во входной цепи. Как на это реагирует индикаторная лампа? Она продолжает гореть. А если нажать обе кнопки? В этом случае электрическая цепь, образованная батареей питания, обмоткой реле и контактами кнопок, оказывается замкнутой, реле срабатывает и его контакты K1.1, размыкаясь, разрывают вторую цепь аналога — лампа гаснет.

Эти опыты позволяют сделать вывод: при сигнале низкого уровня на одном или на всех входах элемента И-НЕ (когда контакты входных кнопок аналога разомкнуты) на выходе действует сигнал высокого уровня, который изменяется на сигнал низкого уровня при появлении таких же сигналов на всех входах элемента (контакты кнопок аналога замкнуты). Такой вывод подтверждается диаграммами работы и таблицей истинности, показанными на рис. 4, *в, г*.

Логический элемент И-НЕ обладает еще одним существенным свойством, суть которого заключается в следующем: если его входы соединить вместе и подать на них сигнал высокого уровня, на выходе элемента будет сигнал низкого уровня. И наоборот, при подаче на объединенный вход сигнала низкого уровня на выходе элемента будет сигнал высокого уровня. В этом случае элемент И-НЕ, как, вероятно, вы уже догадались, становится инвертором, т. е. логическим элементом НЕ. Это свойство элемента И-НЕ очень широко используется в приборах и устройствах цифровой техники.

ЗНАКОМСТВО С ЦИФРОВОЙ МИКРОСХЕМОЙ

В разнообразных приборах и устройствах цифровой техники, конструируемых радиолюбителями, наиболее широко используется микросхема К155ЛА3. С нее, считаем, и следует начинать практическое знакомство с микросхемами этой серии.

Внешний вид и условное графическое изображение микросхемы показаны на рис. 5. Она представляет собой пластмассовый корпус прямоугольной формы с 14 пластинчатыми выводами (некоторые микросхемы этой серии имеют по 16 выводов), расположенными вдоль обеих длинных сторон корпуса. Сверху на корпусе условный ключ — небольшая круглая метка. От нее и ведется нумерация выводов. Если смотреть на микросхему сверху, то отсчитывать выводы нужно против движения часовой стрелки, а если снизу — то по часовой стрелке. Такое правило распространено на все микросхемы серии К155.

Что же представляет собой микросхема К155ЛА3? Она состоит из четырех логических элементов 2И-НЕ, питающихся от общего источника постоянного тока. Каждый ее логический элемент

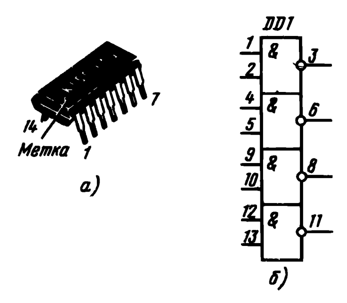


Рис. 5. Внешний вид и условное графическое обозначение микросхемы К155ЛА3

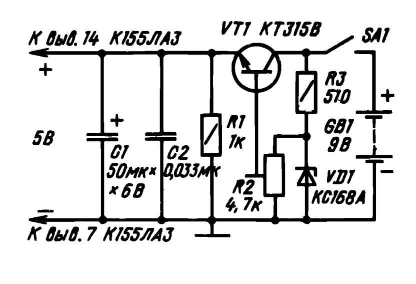


Рис. 6. Простейший блок питания микросхем серии К155

работает как самостоятельная микросхема. Выделить элементы нетрудно по номерам выводов, представленным на схематическом изображении микросхемы. Так, входные выводы 1, 2 и выходной вывод 3 относятся к одному из ее элементов, входные выводы 4, 5 и выходной 6 — ко второму элементу и т. д. Не обозначенные на схематическом изображении микросхемы выводы 7 и 14 служат для подачи питания на все элементы. Эти выводы не принято обозначать на схемах потому, что элементы обычно изображают не слитно, как на рис. 5, *б*, а раздельно в разных участках принципиальной электрической схемы устройства. Цепи же питания элементов остаются общими, причем для микросхемы К155ЛА3 вывод 14 должен соединяться с положительным, а вывод 7 — с отрицательным полюсами источника питания.

Микросхема К155ЛА3, как и другие микросхемы этой серии, рассчитана на питание от источника постоянного тока напряжением 5 В. Можно использовать и батарею гальванических элементов с меньшим на 0,5 В напряжением, например батарею 3336Л. Но во время опытов ее напряжение будет еще более снижаться, что, естественно, скажется на режиме работы микросхемы, а при определенной разрядке батареи микросхема вообще перестанет работать. Поэтому желательно использовать блок питания, обеспечивающий стабильное напряжение 5 В.

Такой блок питания можно собрать, например, по приведенной на рис. 6 схеме. В нем источником постоянного тока GB1 служат две батареи 3336Л, соединенные последовательно. Питание на микросхему подается через стабилизатор напряжения, образованный стабилитроном VD1, балластным резистором R3 и регулирующим транзистором VT1. Емкость электролитического конденсатора C1 может быть 20...50 мкФ, а керамического или слюдяного конденсатора C2 — 0,033...0,047 мкФ.

Как работает стабилизатор напряжения такого блока питания микросхемы? Резистор R3 и стабилитрон VD1 образуют делитель напряжения батареи GB1. Напряжение, действующее на стабилитроне, равно его напряжению стабилизации (для стабилитрона КС168А оно составляет 5,6 В). Напряжение, снимаемое со стабилизатора, через подстроечный резистор R2 подается на базу регулирующего транзистора VT1 и открывает его. Чем больше напряжение на базе этого транзистора, тем больше он открывается, тем больше напряжение на выходе стабилизатора и ток в его нагрузке.

Напряжение на выходе блока, равное 5 В, устанавливайте по контрольному вольтметру постоянного тока подстроечным (или переменным) резистором R2. Такое напряжение на нагрузке будет поддерживаться практически неизменным при снижении напряжения батареи до 7...7,5 В.

Конденсатор C 1 блокирует цепь питания микросхемы по низшим частотам, а C 2 — по высшим частотам электрических колебаний, что защищает микросхему от влияния на ее работу различных электрических помех. Резистор R1 необходим для того, чтобы и при отключенной нагрузке регулирующий транзистор стабилизатора работал как усилитель тока.

Макетную панель (рис. 7,*а*), необходимую для проведения опытов, проверки работоспособности простых приборов и устройств, можно сделать из стеклотекстолита, гетинакса или другого листового

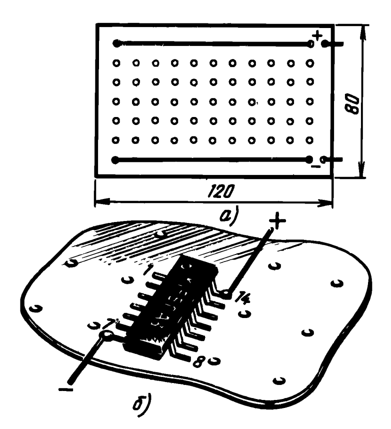


Рис. 7. Макетная панель для опытной проверки работы микросхем

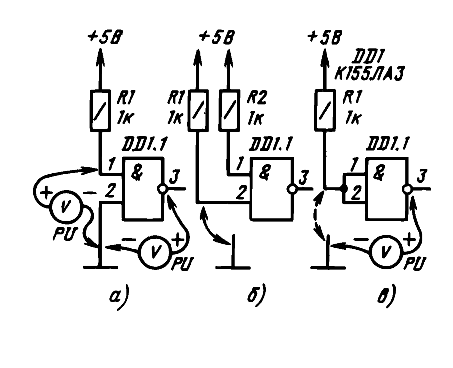


Рис. 8. Опыт с логическим элементом 2И-НЕ

изоляционного материала толщиной 1,5...2 мм. В крайнем случае подойдут хорошо проклеенная фанера, оргалит и даже картон. Ориентировочные размеры панели 80×120 мм. Вдоль длинных ее сторон укрепите предварительно облуженные медные проводники толщиной 1,2...1,5 мм — они будут выполнять роль токонесущих шин источника питания. По всей оставшейся площади через каждые 10 мм насверлите отверстия диаметром 0,8...1 мм, в которые по мере надобности будете вставлять узкие полоски жести, изогнутые наподобие петель,— они будут временными опорными точками выводов резисторов, конденсаторов, монтажных проводников. Снизу по углам панели прикрепите невысокие ножки и приступайте к опытам.

Микросхему разместите в любом месте макетной панели выводами вниз, предварительно отогнув их узкие концы так, чтобы они плотно прилегали к панели. Отрезками монтажного провода вывод 14 микросхемы соедините с плюсовой, а вывод 7 — с минусовой («заземленной») шинами питания (рис. 7, *б*). Мощность пальяника не должна превышать 40 Вт, а продолжительность пайки — 2 с.

Проверив надежность и правильность пайки, а также убедившись в отсутствии замыкания между выводами микросхемы, подключите к шинам источник питания. Вольтметром постоянного тока с относительным входным сопротивлением не менее 5 кОм/В измерьте напряжения на всех логических выводах элементов. Для этого отрицательный щуп вольтметра соедините с общей («заземленной») шиной, а положительным поочередно коснитесь входных выводов 1, 2, 4, 5, 9, 10, 12, 13, а затем выходных выводов 3, 6, 8, 11. При напряжении источника питания 5 В вольтметр должен показать на входных выводах элементов около 1,4 В, а на выходных выводах — около 0,3 В. Если это не так, значит микросхема неисправна.

Опытную проверку логики действия элементов 2И-НЕ можно проводить в любом порядке. Предположим, решили начать с первого элемента (с выводами 1—3). Тогда сначала один из входных выводов, например вывод 2, соедините с общей минусовой шиной источника питания, а вывод 1 — с плюсовой, но через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм (на рис. 8, а — R1). К выходному выводу 3 элемента подключите вольтметр PU. Что показывает стрелка вольтметра, выполняющего в данном случае роль индикатора? Напряжение, равное примерно 3,5...4 В, т. е. соответствующее высокому уровню напряжения.

Затем измерьте вольтметром напряжение на входном выводе 1. И здесь, как увидите, тоже высокий уровень напряжения. Отсюда вывод: когда на одном из входов элемента 2И-НЕ высокий уровень напряжения, а на другом низкий, на выходе будет высокий уровень напряжения. Иначе говоря, элемент находится в единичном состоянии.

Теперь и входной вывод 2 элемента соедините через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм с плюсовой шиной, а проволочной перемычкой — с общей (рис. 8, *б*). Измерьте напряжение на выходном выводе. На нем, как и в предыдущем случае, будет высокий уровень напряжения. Следя за стрелкой индикатора, удалите проволочную перемычку, чтобы и на втором входе элемента появился высокий уровень напряжения. Что фиксирует вольтметр на выходе элемента? Напряжение около 0,3 В, т. е. соответствующее низкому уровню. Элемент, следовательно, из единичного состояния переключился в нулевое.

Той же проволочной перемычкой замкните первый вход на обшую шину источника питания. На выходе при этом сразу появится высокий уровень напряжения. А если любой из входных выводов периодически замыкать на обшую шину питания, как бы имитируя подачу на него напряжения низкого уровня? С такой же частотой следования на выходе элемента будут появляться электрические импульсы и колебаться стрелка подключенного к нему вольтметра. Проверьте это опытным путем.

О чем говорят проведенные опыты? Они подтверждают логику действия элемента И-НЕ, проверенную ранее на его электрическом аналоге: при подаче напряжения высокого уровня на оба входа на выходе элемента появляется напряжение низкого уровня или, говоря иначе, элемент из единичного состояния переключается в нулевое.

Еще один опыт: отключите оба входных вывода элемента от других деталей и проводников. Что теперь на выходе? Низкий уровень напряжения. Так и должно быть, потому что неподключение входных выводов равнозначно подаче на них высокого уровня напряжения и, следовательно, установке элемента в нулевое состояние. Не забывайте об этой особенности логических элементов.

Следующий опыт — проверка действия того же логического элемента 2И-НЕ при включении его инвертором, т. е. как элемент НЕ. Замкните между собой оба входных вывода и через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм соедините их с плюсовой шиной источника питания (рис. 8, *в*). Что показывает вольтметр, подключенный к выходу элемента? Низкий уровень напряжения. Не отключая резистора от этой шины, замкните объ-

единенный вход на минусовую шину (показано штриховой линией) и одновременно проследите за реакцией стрелки вольтметра. Она покажет высокий уровень напряжения. Таким образом, вы убедитесь, что сигнал на выходе инвертора всегда противоположен входному.

Проведите подобные опыты с другими логическими элементами микросхемы К155ЛА3 и сделайте соответствующие выводы.

Прервем на некоторое время опыты, чтобы ответить на вопрос: что внутри логического элемента 2И-НЕ?

До сих пор мы рассматривали этот логический элемент как некий «черный ящик» с двумя входами и одним выходом. Теперь заглянем внутрь элемента и познакомимся с его электронной «начинкой» (рис. 9). Он состоит из четырех транзисторов структуры *n-p-n*, трех диодов и пяти резисторов. Связь между транзисторами непосредственная. Резистор $R_н$, показанный штриховыми линиями, символизирует нагрузку, подключенную к выходу элемента. Подобные электронные устройства цифровой техники называют микросхемами транзисторно-транзисторной логики или, сокращено, ТТЛ. Потому что входная логика осуществляется транзистором (первая буква Т), а усиление и инверсия — также транзисторами (вторая буква Т).

Входной транзистор VT1, включенный по схеме с общей базой, двухэмиттерный, причем эмиттеры соединены с общим проводом питания через диоды VD1, VD2 — они защищают транзистор от случайного попадания на эмиттеры напряжения отрицательной полярности. Транзистор VT2 образует усилительный каскад с двумя нагрузками: эмиттерной (резистор R3) и коллекторной (резистор R2). Снимаемые с них противофазные сигналы (противоположные по уровню — если на коллекторе высокий уровень напряжения, на эмиттере — низкий)

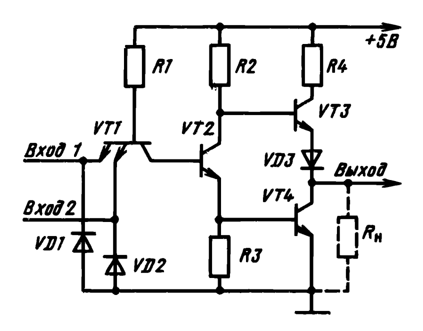


Рис. 9. Схема логического элемента 2И-НЕ микросхемы К155ЛА3

поступают на базы транзисторов VT3 и VT4 выходного каскада. Таким образом, выходные транзисторы во время работы всегда находятся в противоположных состояниях — один закрыт, а второй в это время открыт. Этому способствует и диод VD3.

При наличии на одном или обоих входах элемента напряжения низкого уровня (например, при соединении их с общим проводом источника питания), транзистор VT1 открыт и насыщен, транзисторы VT2 и VT4 закрыты, а транзистор VT3 выходного каскада открыт и через него, диод VD3 и нагрузку $R_н$ течет ток. В том же случае, когда на оба входа будет подан высокий уровень напряжения, транзистор VT1 закроется, а транзисторы VT2 и VT4 откроются и тем самым закроют транзистор VT3. При этом ток через нагрузку практически прекратится, так как элемент примет нулевое состояние.

Низкий уровень напряжения на выходе логического элемента равен напряжению на коллекторе открытого транзистора VT4 и не превышает 0,4 В. Высокий же уровень напряжения на выходе логического элемента (когда транзистор VT4 закрыт) отличается от напряжения источника питания на значение падения напряжения на транзисторе VT3 и диоде VD3 и составляет не менее 2,4 В. Фактически же логические уровни низкого и высокого напряжений на выходе элемента зависят от сопротивления нагрузки и могут быть в пределах 0,1...0,15 и 3,5...3,9 В соответственно.

Переход элемента из единичного состояния в нулевое происходит скачкообразно при подаче на его входы напряжения около 1,2 В, называемого пороговым.

Продолжим опыты с микросхемой К155ЛА3.

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Схема возможного варианта автоколебательного мультивибратора приведена на рис. 10, *а*. Она должна напомнить вам общеизвестную схему симметричного мультивибратора на двух транзисторах. Но здесь функцию активных элементов мультивибратора выполняют логические элементы 2И-НЕ, включенные инверторами. Благодаря положительным обратным связям между выходом элемента DD1.2 и входом DD1.1, а также выходом элемента DD1.1 и входом DD1.2, создаваемыми конденсаторами C1 и C2, устройство возбуждается и генерирует электрические импульсы. Частота следования генерируемых импульсов зависит

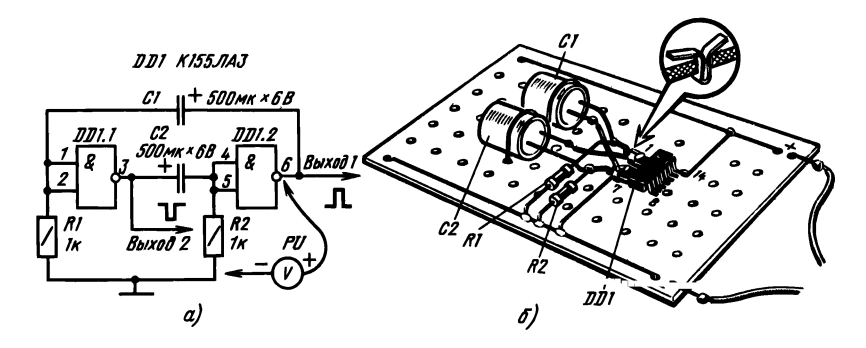


Рис. 10. Опыт с автоколебательным мультивибратором на логических элементах 2И-НЕ

от номиналов указанных конденсаторов и резисторов R1 и R2.

Чтобы смонтировать такой мультивибратор на макетной панели, надо лишь подключить к соответствующим выводам микросхемы эти конденсаторы и резисторы (см. рис. 1, *б*). Проверьте монтаж — нет ли ошибок — и особенно внимательно полярность включения электролитических конденсаторов. Подключите к макетной панели источник питания, а к выходу второго логического элемента — вольтметр. Что показывает стрелка вольтметра? Напряжение постоянного тока, периодически, примерно 30 раз в минуту, возрастающее до высокого уровня и так же резко уменьшающееся до напряжения низкого уровня. Мультивибратор, следовательно, генерирует импульсы с частотой следования около 0,5 Гц.

Затем подключите вольтметр параллельно выходу первого элемента. Он будет фиксировать переходы логического элемента из нулевого состояния в единичное, и наоборот, с той же частотой, что и в предыдущем случае. Значит, и с этого выхода можно снимать электрические импульсы, но по отношению к импульсам на выходе второго элемента они будут сдвинуты по фазе на 180°.

Какие эксперименты можно провести с опытным мультивибратором такого варианта? Прежде всего попробуйте одновременно увеличить емкости обоих конденсаторов, например в два раза, подключая параллельно им такие же конденсаторы, а затем заменить их конденсаторами емкостью по 100...200 мкФ. В первом случае частота следования импульсов должна уменьшаться, во втором — увеличиваться.

Можно изменять емкость лишь одного конденсатора, например C1. Это изменит не только частоту, но и соотношение длительности импульсов и пауз между ними — мультивибратор станет несимметричным.

Конденсаторы могут быть емкостью по 1...5 мкФ. Тогда частота генерируемых импульсов возрастет примерно до 500...1000 Гц. Это уже звуковая частота, и стрелка вольтметра из-за своей инерционности не сможет среагировать на нее. Чтобы в этом случае убедиться в работе мультивибратора, к его выходу нужно подключить через конденсатор емкостью 0,01....0,015 мкФ головные телефоны — в них услышите звук средней тональности. Заменив теперь один из постоянных резисторов переменным такого же номинала, вы сможете в некоторых пределах плавно изменять частоту генерируемых импульсов, а значит и тональность звука в телефонах.

Не исключено, что собранный вами опытный мультивибратор работает неустойчиво, не возбуждается после замены деталей при пониженном напряжении источника питания. Причина тому — некоторая критичность номиналов резисторов на входе логических элементов из-за особенностей эмиттерного входа микросхем ТТЛ.

Суть этих особенностей заключается в следующем. Резистор на входе логического элемента, образующего одно из плеч мультивибратора, оказывается включенным в эмиттерную цепь входного транзистора элемента микросхемы. Ток эмиттера создает на нем падение напряжения, закрывающее этот транзистор. При сравнительно большом сопротивлении входного резистора (более 2,2...2,5 кОм) падение напряжения на нем столь значительно, что транзистор практически не реагирует на входной сигнал. И наоборот, при малом сопротивлении резистора (не более 600...700 Ом) входной транзистор элемента все время открыт и насыщен и, следовательно, оказывается неуправляемым входными сигналами.

Таким образом, для надежной работы мультивибратора такого варианта соп-

ротивления входных резисторов логических элементов должны быть в пределах 800 Ом...2,2 кОм. Соответствующим подбором этих резисторов можно добиться устойчивой работы мультивибратора. Кроме того, нужно помнить, что на работу мультивибратора влияют разброс параметров микросхем, нестабильность напряжения источника питания, значительные изменения температуры окружающей среды.

Более стабилен в работе мультивибратор на трех логических элементах без резисторов на их входах, собранный, например, по схеме, приведенной на рис. 11, *а*. Все его элементы включены инверторами и соединены между собой последовательно. Времязадающую цепочку, определяющую частоту генерации, образуют конденсатор C1 и резистор R1.

Детали такого варианта автоколебательного мультивибратора смонтируйте на макетной панели (рис. 11 *б*). На ней же разместите и детали индикатора работы мультивибратора, показанные на панели справа. Транзистор VT1 индикатора (рис. 11, *в*), питающийся от того же источника, что и микросхема, работает в режиме переключения как электронный ключ. Когда элемент DD1.3 мультивибратора находится в единичном состоянии (напряжение на его выходе соответствует высокому уровню), транзистор открыт и лампа накаливания HL1 в его коллекторной цепи горит. При переходе элемента в нулевое состояние лампа гаснет. По свечению сигнальной лампы будете судить о частоте и длительности генерируемых импульсов. Впрочем, индицировать состояние любого из элементов мультивибратора можно и с помощью вольтметра постоянного тока, как это делали в опытах с первым мультивибратором.

Проверив монтаж, включите питание. Мультивибратор сразу же начнет генерировать электрические импульсы, о чем будет свидетельствовать периодически вспыхивающая сигнальная лампа. Подсчитайте, сколько будет вспышек за минуту. Должно быть примерно 60. Если это так, значит, частота следования импульсов мультивибратора равна 1 Гц.

Подключите параллельно конденсатору C1 второй конденсатор такой же емкости. Частота импульсов должна уменьшиться примерно вдвое. Такого же изменения частоты импульсов можно добиться увеличением сопротивления резистора. Проверьте это, а затем замените резистор переменным с номинальным сопротивлением 1,5...1,8 кОм. Теперь, пользуясь только этим резистором, вы сможете плавно изменять частоту мультивибратора в пределах 0,5...20 Гц. Наибольшая частота будет в том случае, когда сопротивление резистора окажется полностью выведено, т. е. выводы 8 и 1, 2 почти накоротко замкнутыми.

А если емкость конденсатора будет 1 мкФ? В таком случае только переменным резистором удастся изменять частоту мультивибратора примерно от 300 Гц до 10 кГц. Чтобы убедиться в работоспособности мультивибратора, световой индикатор теперь придется заменить акустическим — головными телефонами или капсюлем от них.

Каков принцип работы такого варианта автоколебательного мультивибрато-

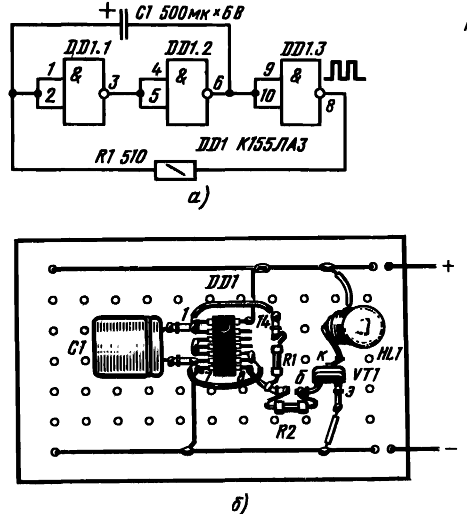


Рис. 11. Мультивибратор на трех элементах 2И-НЕ и опыты с ним

ра? Вернемся к его принципиальной схеме (см. рис. 11, *а*). После включения питания какой-то из логических элементов первым примет одно из двух возможных состояний и тем самым повлияет на состояние других элементов. Предположим, что это будет элемент DD1.2 — он первым оказался в единичном состоянии. Сигнал высокого уровня через незаряженный конденсатор передается с его выхода на вход элемента DD1.1, в результате чего этот элемент перейдет в нулевое состояние. В таком же состоянии оказывается и элемент DD1.3, поскольку на его входах высокий уровень напряжения. Такое положение неустойчиво, так как на выходе элемента DD1.3 в это время высокий уровень напряжения, который постепенно уменьшается за счет зарядки конденсатора C1 через резистор R1 и выходной каскад элемента DD1.3. Как только оно станет равным пороговому, этот элемент переключится в единичное состояние, а элемент DD1.2 — в нулевое. Теперь конденсатор начнет перезаряжаться через элемент DD1.3 (на его выходе в это время напряжение высокого уровня), резистор R1 и элемент DD1.2. Вскоре напряжение на входе первого элемента превысит пороговое, и все элементы переключатся в противоположные состояния. Так формируются электрические импульсы на выходе нашего мультивибратора — выводе 8 элемента DD1.3. Впрочем, генерируемые импульсы можно снимать и с вывода 6 — выхода элемента DD1.2 мультивибратора.

Теперь, разобравшись в работе трехэлементного мультивибратора, исключите из него элемент DD1.3 и переключите правый (по схеме) вывод резистора на выход первого элемента, как показано на рис. 12. Мультивибратор стал двухэлементным. Подключив к его выходу световой индикатор, вы убедитесь, что частота генерируемых импульсов осталась прежней — 1 Гц. Как и в предыдущих опытных мультивибраторах, она будет изменяться при установке деталей других номиналов.

Как работает такой вариант генератора импульсов? Принципиально так же, как трехэлементный. Когда, к примеру, элемент DD1.1 находится в единичном состоянии, а элемент DD1.2 в нулевом, конденсатор C1 заряжается через резистор R1, выход первого элемента и выход второго. Как только напряжение на входе первого элемента достигнет порогового, оба элемента переключаются в противоположные состояния и конденсатор начнет разряжаться через выходную цепь второго элемента, резистор и выходную цепь первого элемента. Когда напряжение на входе первого элемента

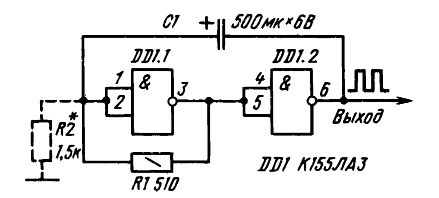


Рис. 12. Вариант мультивибратора на двух элементах 2И-НЕ

снизится до порогового, элементы вновь переключатся в противоположное состояние.

Надо сказать, что среди микросхем К155ЛА3 попадаются такие, логические элементы которых недостаточно устойчиво работают в двухэлементном мультивибраторе. В таких случаях приходится между входом первого элемента и общим проводником источника питания включать резистор сопротивлением 1,2...2 кОм (на рис. 12 показан штриховыми линиями R2). Он создает на входе элемента постоянное напряжение, близкое к пороговому, что облегчает запуск и условия работы мультивибратора в целом.

Такие варианты мультивибратора широко используют в цифровой технике для генерирования импульсов различной частоты и длительности. Они будут и в конструируемых вами устройствах на логических элементах 2И-НЕ.

А сейчас — еще об одном варианте генератора из «семейства» мультивибраторов.

ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Так называют генератор одиночных импульсов. При кратковременном сигнале на входе он формирует электрический импульс прямоугольной формы вполне определенной длительности (она не зависит от длительности входного, т. е. запускающего, импульса), после чего переходит в ждущий режим и не работает до прихода следующего запускающего сигнала.

Схему простейшего ждущего мультивибратора вы видите на рис. 13, *а*. В нем также два логических элемента, но первый из них используется по своему прямому назначению — как элемент 2И-НЕ, а второй как инвертор. Кнопочный выключатель SB1 выполняет функцию датчика запускающих сигналов. Чтобы генерируемые импульсы можно было индицировать вольтметром постоянного тока, светодиодом или иным подобным сравнительно инерционным прибором,

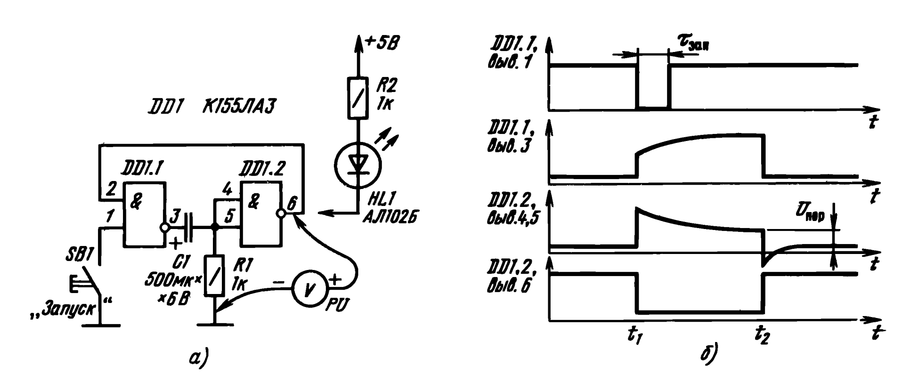


Рис. 13. Опытный ждущий мультивибратор (а) и временны́е диаграммы (б), иллюстрирующие его работу

емкость конденсатора С1 должна быть не менее 500 мкФ, а сопротивление резистора R1 — 1...1,5 кОм. Можно обойтись без выключателя SB1, имитируя сигнал датчика замыканием отрезком монтажного провода вывода 1 первого элемента на общую шину питания микросхемы.

Смонтировав мультивибратор и включив питание, сразу же измерьте напряжения на входах и выходах элементов. На входном выводе 2 первого элемента и выходе второго элемента оно должно соответствовать высокому уровню напряжения, а на выходе первого элемента и входах второго — низкому уровню. Следовательно, в ждущем режиме первый элемент находится в нулевом состоянии, а второй — в единичном.

Затем подключите вольтметр к выходу второго элемента и, наблюдая за стрелкой индикатора, кратковременно замкните контакты выключателя SB1. Как на это реагирует измерительный прибор? Его стрелка резко отклоняется влево почти до нулевой отметки шкалы, а примерно через 2 с так же резко возвращается в исходное положение. Прибор фиксирует появление импульса отрицательной полярности. А светодиод? Он светится во время импульса. Повторите опыт несколько раз — эффект будет тот же.

Подключите параллельно конденсатору еще один — емкостью 1000 мкФ — и повторите опыт. Длительность импульса увеличится почти втрое. Замените резисторы переменным сопротивлением около 2 кОм (но не более 2,2 кОм). Теперь, пользуясь только этим резистором, вы сможете в некоторых пределах изменять длительность генерируемых импульсов. Но при его сопротивлении менее 100 Ом мультивибратор перестанет работать.

Вывод напрашивается сам: длительность одиночных импульсов ждущего мультивибратора будет тем больше, чем больше емкость времязадающего конденсатора С1 и сопротивление резистора R1. При небольшой емкости конденсатора и малом сопротивлении резистора импульсы становятся столь короткими, что индикаторы, которыми вы пользуетесь, оказываются неспособными на них реагировать.

Разобраться в сущности действия ждущего мультивибратора помогут временны́е диаграммы, приведенные на рис. 13, *б*. Поскольку в ждущем режиме входной вывод 1 первого элемента ни с чем не соединен (контакты кнопочного выключателя разомкнуты), это эквивалентно подаче на его вход высокого уровня напряжения. Но на выходе первого элемента низкий уровень напряжения. На входе второго элемента также низкий уровень напряжения, так как падение напряжения на резисторе, создаваемое входным током элемента, удерживает входной транзистор элемента в закрытом состоянии. Высокий же уровень напряжения на выходе этого элемента поддерживает первый элемент в нулевом состоянии.

Поданный на входной вывод 1 запускающий импульс отрицательной полярности ($\tau_{зап}$ на верхнем графике) переключает первый элемент в единичное состояние. Создающийся в этот момент (t_1) скачок положительного напряжения на его выходе передается через конденсатор на входы второго элемента и переключает его из единичного состояния в нулевое. Такое состояние элементов сохраняется и после окончания действия запускающего импульса.

С момента появления положительного импульса на выходе первого элемента начинает заряжаться конденсатор — через выходной каскад первого элемента и резистор. По мере зарядки конденсатора напряжение на резисторе падает. Как только оно снизится до порогового, вто-

рой элемент переключится в единичное состояние, а первый — в нулевое. Теперь конденсатор быстро разрядится через выходной каскад первого элемента и входное сопротивление второго элемента, и устройство окажется в ждущем режиме.

При проведении опытов и экспериментов с ждущим мультивибратором учитывайте, что для нормальной его работы длительность запускающего импульса должна быть меньше длительности формируемого импульса.

Какие практические применения может найти мультивибратор на логических элементах микросхемы К155ЛА3?

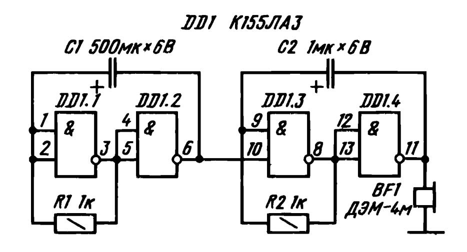


Рис. 14. Схема генератора прерывистого звукового сигнала

О ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Начнем с автоколебательного мультивибратора. Являясь устройством универсальным, он может найти разнообразное применение. Возьмем, к примеру, мультивибратор на трех логических элементах. Будучи смонтированным вместе с транзисторным индикатором по схеме на рис. 11, он становится генератором световых импульсов, который можно использовать для модели маяка. Если транзистор будет средней или большой мощности, например КТ801, в его коллекторную цепь можно включить несколько соединенных параллельно миниатюрных ламп накаливания — они украсят небольшую новогоднюю елку.

Если емкость конденсатора мультивибратора будет 1 мкф, а постоянный резистор R1 — переменным, сопротивлением 1,5 или 2,2 кОм, то получится генератор колебаний звуковой частоты, пригодный для проверки работоспособности трактов радиовещательных приемников, усилителей звуковой частоты.

К выходу такого устройства можно подключить телефонный капсюль ДЭМ-4м или транзисторный индикатор, но с динамической головкой в коллекторной цепи. Получится звуковой генератор, который можно использовать в качестве квартирного звонка или применить для изучения приема на слух телеграфной азбуки. В первом варианте питание генератора можно подавать через звонковую кнопку, во втором — через контакты телеграфного ключа. Частоту генерируемых импульсов в пределах 800...1000 Гц, соответствующую звуку средней тональности, устанавливают переменным резистором или подбором заменяющего его постоянного резистора.

Следующий пример использования мультивибратора — генератор прерывистого звукового сигнала (рис. 14). Он состоит из двух взаимосвязанных мультивибраторов, выполненных на логических элементах одной микросхемы К155ЛА3. Мультивибратор на элементах DD1.3 и DD1.4 генерирует колебания частотой около 1000 Гц, которые преобразуются капсюлем ДЭМ-4м (BF1) в звук. Но звук прерывистый, потому что работой этого мультивибратора управляет другой — на логических элементах DD1.1 и DD1.2. Он генерирует тактовые импульсы с частотой следования около 1 Гц. Телефон звучит лишь в те промежутки времени, когда на выходе тактового генератора появляется высокий уровень напряжения. Длительность звуковых сигналов можно изменять подбором конденсатора C1 и резистора R1, а высоту звука — подбором конденсатора C2 и резистора R2.

Ждущий мультивибратор, дополненный световым сигнализатором (рис. 15), может стать основой игрового автомата или аттракциона. Например, аттракциона под условным названием «Погаси свечу». Сам аттракцион — это макет горящей свечи на подставке. Если сильно подуть на свечу, то замаскированная в ее «фитиле» лампа накаливания HL1 должна погаснуть, а спустя некоторое время — вновь загореться.

«Секрет» аттракциона в том, что стенка подставки за свечой — легкая непрозрачная ткань, на обратной стороне которой напротив «фитиля» свечи укреплена небольшая жестяная пластинка. Это контакт датчика-выключателя SA1. На расстоянии 3...5 мм от нее расположен конец отрезка толстого провода — второй контакт выключателя. Сильная струя воздуха прогибает тканевую стенку коробки, и контакты выключателя замыкаются. На выходе ждущего мультивибратора появляется импульс отрицательной полярности, который закрывает транзистор и гасит лампу.

Другой пример возможного использования такого автомата — тир для «стрельбы» теннисным мячом. «Яблочком» мишени служит металлическая пла-

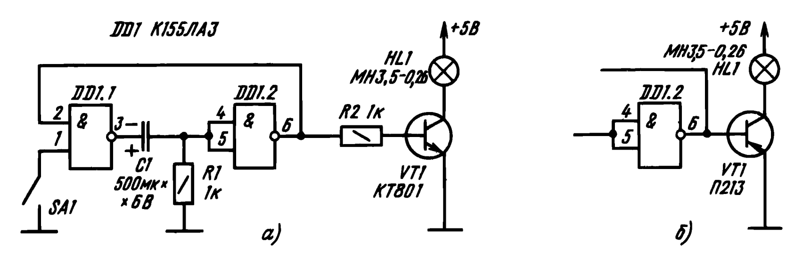


Рис. 15. Схема игрового автомата

стинка диаметром 80...100 мм, находящаяся на небольшом расстоянии от второго контакта. При точном попадании в «яблочко» контакты кратковременно замыкаются и сигнальная лампа гаснет. Но можно сделать так, чтобы лампа индикатора, наоборот, при точном попадании в цель зажигалась. В этом случае надо лишь для индикатора использовать транзистор структуры *p-n-p*, например серии П213, и изменить полярность подключения выводов его эмиттера и коллектора, как показано на рис. 15, *б*. При этом резистора в базовой цепи транзистора может не быть.

Ждущий мультивибратор представляет интерес и как генератор одиночных импульсов для проверки работоспособности приборов и устройств цифровой техники, о чем мы поговорим чуть позже. Сейчас же приведем еще несколько примеров практического применения автоколебательного мультивибратора в радиолюбительских конструкциях.

На рис. 16 показана схема простейшего измерительного прибора-пробника, с помощью которого можно проверить качество электрических контактов монтажа, выключателя, целость катушки колебательного контура, исправность диода, качество конденсатора, *p-n* перехода транзистора. Его основа — симметричный мультивибратор на элементах DD1.1 и DD1.2, генерирующий импульсы с частотой следования около 1 кГц. Индикатором пробника служат светодиод HL1 или высокоомные головные телефоны типа ТОН-1, ТОН-2 или ТЭГ-1, подключенные к двухгнездной розетке XS1. Щупы XA1 и XA2 выполняют роль контактов своеобразного выключателя, через который на микросхему подается отрицательное напряжение источника питания GB1. Пока щупы не замкнуты между собой, цепь питания разорвана и мультивибратор не работает. Если щупами коснуться концов проводника или выводов катушки индуктивности, через них цепь питания микросхемы окажется замкнутой и мультивибратор начнет генерировать электрические колебания звуковой частоты. При высоком уровне напряжения на выходном выводе 6 мультивибратора светодиод будет зажигаться, а при низком — гаснуть. А так как частота генерируемых импульсов достаточно высокая, глаз не замечает миганий светодиода — он светится как бы непрерывно. Если, однако, в проверяемом проводнике или в катушке обрыв, то ни свечения светодиода, ни звука в телефонах не будет.

Чтобы проверить полупроводниковый диод, к его выводам подключают щупы пробника, сначала в одной полярности, а затем, поменяв местами, в другой. При одном подключении, когда диод относительно источника питания оказывается включенным в прямом направлении, световой и звуковой сигналы должны быть, а при обратном — нет. Появление сигналов при любой полярности подключения пробника укажет на тепловой пробой *p-n* перехода диода.

Аналогично проверяют исправность

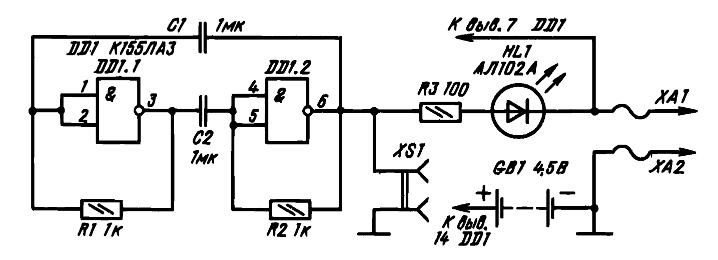


Рис. 16. Измерительный пробник

коллекторных и эмиттерных *p-n* переходов транзисторов, а также их участки эмиттер — коллектор.

Исправность конденсаторов проверяют на пробой (замыкание обкладок) по отсутствию светового (или звукового) сигнала при касании их выводов щупами пробника. При проверке электролитического конденсатора в момент подключения к его выводам щупов пробника могут появляться кратковременный звуковой сигнал и вспышка светодиода, которые вызывает ток зарядки конденсатора. Эти сигналы тем значительнее, чем больше емкость проверяемого электролитического конденсатора.

Источником питания такого измерительного пробника может служить батарея 3336Л или три гальванических элемента 316, 332, соединенные последовательно.

На логических элементах 2И-НЕ можно построить простой генератор колебаний звуковой частоты (ЗЧ) и радиочастоты (РЧ) для проверки трактов радиовещательных приемников. Примером может служить прибор, схема которого показана на рис. 17. Его генератором колебаний звуковой частоты (около 1 кГц) служит мультивибратор на элементах DD1.3 и DD1.4. Генерируемые им колебания через инвертор DD2.2, конденсатор C5 и гнездо XS2 «ЗЧ» с помощью щупа, вставляемого в это гнездо, подается на вход проверяемого усилителя звуковой частоты.

Генератор колебаний радиочастоты образуют логические элементы DD1.1, DD1.2, катушка L1 и конденсаторы C1, C2. Частота его колебаний определяется в основном индуктивностью катушки L1 и в небольших пределах может изменяться конденсатором переменной емкости C1.

Элемент DD2.1 выполняет функцию смесительного каскада прибора. На его входной вывод 1 поступают колебания радиочастоты, а на вход 2 — колебания звуковой частоты. В результате на выходе элемента формируется импульсный сигнал радиочастоты, модулированный колебаниями звуковой частоты. Через конденсатор C4 и гнездо XS1 «РЧ» его подают на вход радиочастотного тракта (или одного из его каскадов) проверяемого приемника.

Катушку L1 контура генератора радиочастоты можно намотать на каркасе диаметром 8...9 мм с отрезком ферритового стержня марки М600НМ внутри. Чтобы пробник работал в диапазоне 3...7 МГц, на такой каркас надо намотать 50—55 витков провода ПЭВ-2 0,2...0,3. В качестве конденсатора переменной емкости (C1) можно использовать подстроечный конденсатор типа КПК-1.

Конструкция такого измерительного генератора-пробника — произвольная. Для его питания желательно использовать источник стабильного напряжения 5 В, но можно и батарею 3336Л.

И еще один пример практического использования логических элементов цифровых микросхем — игра «Переправа». В основу содержания этой игры положена старинная логическая задача о волке, козе и капусте, которых перевозчик должен без потерь переправить на противоположный берег реки. Но лодка так мала, что кроме самого перевозчика она может вместить одного волка, или козу, или капусту. Оставлять же на берегу волка с козой или козу с капустой нельзя — обязательно будут потери.

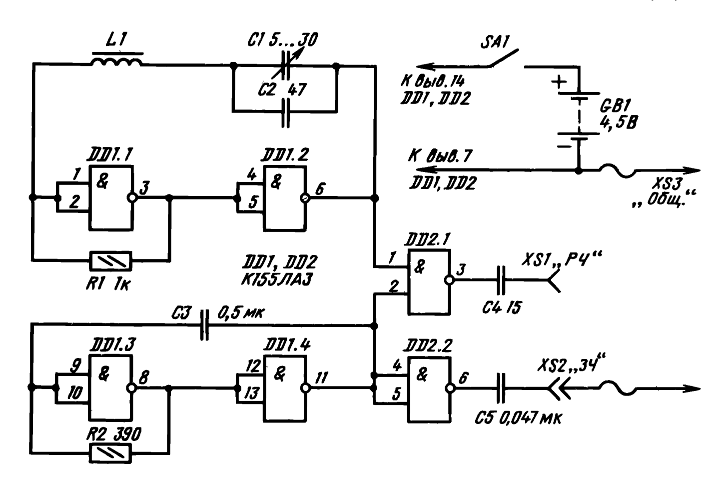


Рис. 17. Генератор ЗЧ-РЧ для проверки трактов радиовещательного приемника

Безболезненно можно оставить вместе только волка с капустой. Как в такой ситуации должен поступить перевозчик?

Для решения этой задачи радиолюбитель И. Синельников из Калининграда предложил игровое электронное устройство на логических элементах 2И-НЕ и 3И-НЕ, принципиальную схему которого вы видите на рис. 18. Переключателями SA1 — SA4 играющий осуществляет «перевозку» пассажиров на противоположный берег реки. Так, например, если он считает, что первой через реку должна быть переправлена коза, он переводит вниз (по схеме) ручки переключателей SA2 «Коза» и SA1 «Перевозчик». Положение ручек переключателей отображают ситуации, сложившиеся в данный момент на переправе. Элементы DD1.1, DD1.2 (3И-НЕ) и DD2.1, DD2.2 образуют логический узел, формирующий сигнал ошибочного хода, при котором возникает опасная ситуация на одном из берегов реки (волк может съесть козу, а коза — капусту). О допущенной ошибке сигнализируют светодиоды HL1 и HL2, каждый из которых расположен на своем берегу, и звуковой сигнал, создаваемый динамической головкой BA1.

Как работает такой игровой автомат? В исходном состоянии, когда все «пассажиры» и перевозчик находятся на одном берегу реки, что соответствует показанным на схеме положениям переключателей SA1 — SA4 (и включено питание), на выходах элементов DD1.1, DD1.2 и DD2.1 логического узла действуют высокие уровни напряжения и, следовательно, светодиоды не светятся, а на выходе элемента DD2.2 — низкий уровень. В этом нетрудно убедиться по положениям переключателей. При включении питания кнопкой SB1 «Переправа» на входе 2 элемента DD1.1 и входе 3 элемента DD1.2, являющихся логическими элементами 3И-НЕ (отличаются от элементов 2И-НЕ лишь тем, что они трехвходовые), а также на обоих входах элемента DD2.1 возникают низкие уровни напряжения. А для элементов 2И-НЕ и 3И-НЕ этого достаточно, чтобы на их выходах появился высокий уровень напряжения. Оба входа элемента DD2.2 в это время остаются свободными, на них, следовательно, высокие уровни напряжения, а на выходе 8, а значит и на входе 5 элемента DD1.2, с которым он соединен, низкий уровень напряжения.

Предположим, что играющий первым ходом переправляет на другой берег козу. Для этого он должен перевести в другое положение ручки переключателей SA2, SA1 и нажать кнопку SB1. При этом на выходах всех четырех элементов логического узла будут, как и в исходном состоянии, такие же уровни напряжения, и ни один из светодиодов не загорится. А если попытаться первым перевести волка? В таком случае переключатель SA3 создаст на входе 9 элемента DD2.2 низкий уровень напряжения, в результате чего на его выходе и входе 5 элемента DD1.2 появится высокий уровень напряжения. Сигнал такого же уровня будет и на двух других входах элемента DD1.2, так как они окажутся свободными, что равнозначно подаче на них высокого напряжения, на его выходе 6 появится низкий уровень напряжения, который зажжет светодиод HL2 — сигнал опасной ситуации (оставшаяся на берегу коза может съесть капусту!). А светоди-

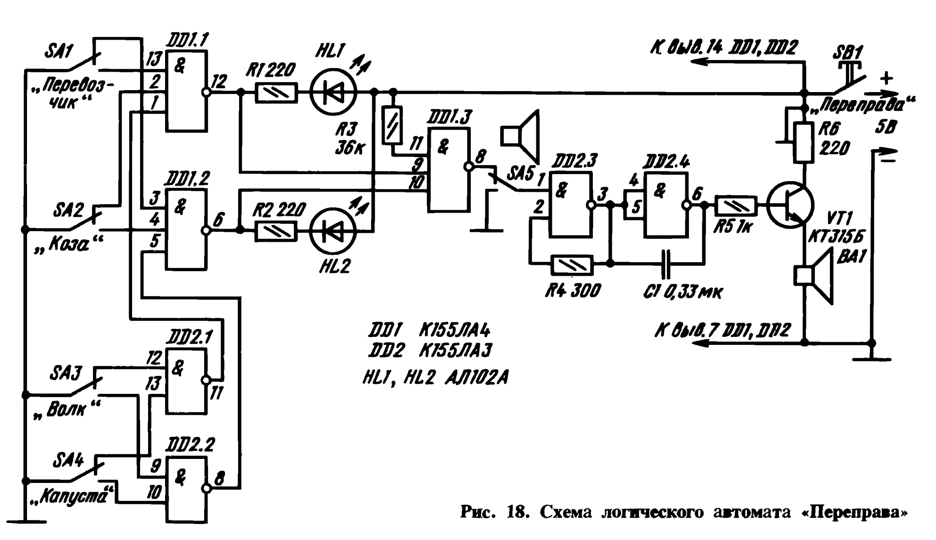


Рис. 18. Схема логического автомата «Переправа»

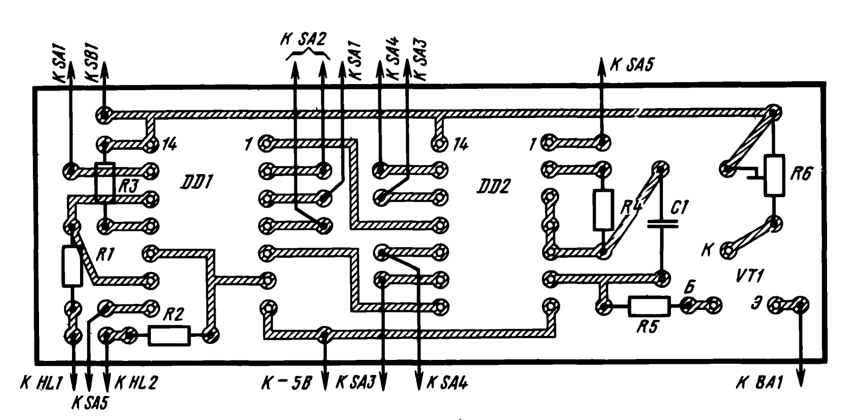
од HL1, находящийся на другом берегу реки, гореть не будет, так как в это время на входе 13 элемента DD1.1 переключатель SA1 создаст низкий уровень напряжения.

С выходов элементов DD1.1 и DD1.2 сигнал опасной ситуации подается также на входы 9 и 10 элемента DD1.3. При появлении на одном из них низкого уровня напряжения на выходе элемента начинает действовать напряжение высокого уровня, которое запускает мультивибратор, собранный на элементах DD2.3 и DD2.4. С выхода мультивибратора генерируемые им колебания частотой около 500 Гц поступают на базу транзистора VT1, включенного эмиттерным повторителем, и головкой BA1 преобразуются в тревожный звуковой сигнал. Переключателем SA5 звуковую сигнализацию, оповещающую об ошибке в решении задачи, независимо от того, на каком из берегов возникла опасная ситуация, можно отключить, оставив лишь световую сигнализацию.

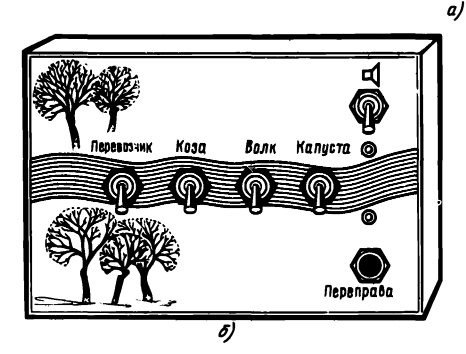
Резистор R5 выполняет роль ограничителя тока базы транзистора VT1. Через резистор R3 на неиспользуемый вход 11 элемента DD1.3 подается высокий уровень напряжения, что защищает узел сигнализации от различных электрических помех. Подстроечным резистором R6, включенным в коллекторную цепь транзистора, устанавливают желательную громкость звучания головки BA1.

Детали игрового автомата, кроме элементов коммутации, светодиодов и динамической головки, можно смонтировать на печатной плате размерами 70×25 мм (рис. 19, *а*) и разместить ее в плоском пластмассовом или изготовленном из фанеры корпусе размерами примерно 120×90×50 мм (рис. 19, *б*). На передней стенке корпуса должен быть рисунок реки, вдоль русла которой укреплены переключатели SA1 — SA4, а на противоположных берегах — светодиоды HL1 и HL2. Здесь же находятся переключатель SA5 и кнопка SB1 «Переправа». Переключатели SA1 — SA5 типа М1-1 или тумблеры ТВ2-1, кнопка SB1 — типа КМ1-1. Динамическая головка BA1 мощностью 0,1...0,25 Вт, например 0,25ГД-10. Источником питания может служить двухполупериодный выпрямитель с выходным напряжением 5 В или батарея 3336Л.

Перед началом решения задачи все переключатели должны быть в исходном положении, соответствующем ситуации,



а)



б)

Рис. 19. Монтаж деталей и конструкция игрового автомата «Переправа»

когда все «пассажиры» и перевозчик находятся на одном берегу реки. Затем начинают переправу на другой берег — ставят ручки соответствующих переключателей так, чтобы они были направлены в сторону берега, куда должна плыть лодка, и, нажав на кнопку «Переправа», проверяют правильность хода. Если при этом появляется световой или звуковой сигнал ошибки, ход считается неверным — надо искать другой вариант решения задачи.

Чтобы убедиться в правильной работе игрового автомата, надо знать хотя бы один вариант решения логической задачи. Он может быть таким. Сначала перевозчик переправляет на другой берег козу. Затем возвращается обратно и забирает капусту. На другом берегу он оставляет капусту и забирает козу. Переправив обратно козу, сажает в лодку волка и перевозит его к капусте, после чего возвращается и забирает козу. Таким образом, задача решается за семь ходов. Могут быть и другие варианты решения задачи.

БЛОК ПИТАНИЯ С ГЕНЕРАТОРАМИ ИМПУЛЬСОВ

Продолжительные опыты и эксперименты с устройствами на цифровых микросхемах, разговор о которых еще впереди, требуют более «емкого» по сравнению с батареей 3336Л источника питания. Выход здесь напрашивается сам — нужно воспользоваться электроосветительной сетью и собрать стабилизированный источник питания с регулируемым выходным напряжением. А для проверки работоспособности микросхем функционального назначения, как, например, триггеров, различных счетчиков, дешифраторов, следует добавить к блоку питания испытательные генераторы импульсов различной длительности и частоты следования. Вот такой комбинированный прибор мы и предлагаем сконструировать для дальнейшей практической работы с цифровой техникой.

Схема прибора показана на рис. 20. Трансформатор T1 понижает сетевое напряжение до 9...10 В. Это напряжение, снимаемое с обмотки II, выпрямляется диодами VD1—VD4, включенными по мостовой схеме. Конденсатор C1 сглаживает пульсации выпрямленного напряжения. Постоянное напряжение с конденсатора C1 поступает далее на два стабилизатора.

Один из стабилизаторов выпрямленного напряжения, выполненный на стабилитроне VD5 и регулирующем транзисторе VT1, используется для питания генераторов испытательных импульсов. Другой стабилизатор собран на стабилитроне VD6 и транзисторе VT2. Выходное напряжение этого стабилизатора подается на гнезда XS2 и XS3, к которым в дальнейшем будете подключать опытные приборы и устройства. Причем его выходное напряжение можно плавно изменять переменным резистором R4 примерно от 0 до 6 В. Кроме того, в этом стабилизаторе установлена ячейка защиты регулирующего транзистора и выпрямителя от перегрузок в случае короткого замыкания в цепи нагрузки — она составлена из резистора R5 и транзистора VT3. Пока ток, потребляемый нагрузкой, не превышает допустимого, падение напряжения на резисторе R5 меньше напряжения открывания транзистора VT3. Как только падение напряжения на резисторе достигнет 0,6...0,7 В, транзистор VT3 откроется и своим малым сопротивлением участка коллектор-эмиттер зашунтирует стабилитрон VD6. При этом регулирующий транзистор VT2 окажется закрытым, отчего ток во внешней цепи стабилизатора резко упадет до 10...15 мА.

На выходе второго стабилизатора установлен стрелочный индикатор PA1, который совместно с резистором R6 образует вольтметр постоянного тока. Если переключатель SA2 находится в показанном на схеме положении, индикатором можно контролировать выходное напряжение стабилизатора. Когда же переключатель ставят в положение «Изм.», вольтметр оказывается подключенным к гнездам XS1 и XS3. Соединяя проводниками эти гнезда с выводами работающих микросхем, можно контролировать электрическое состояние логических элементов. Аналогично вольтметр можно использовать для контроля напряжений в цепях конструируемых устройств.

Теперь об испытательных генераторах. Это знакомые вам мультивибраторы на микросхемах. Так, например, на элементах DD1.1 и DD1.2 собран ждущий мультивибратор. При кратковременном замыкании контактов кнопки SB1 «Зап.» он формирует импульс отрицательной полярности и длительностью около 0,5 с. Но его запускающая цепь несколько отличается от подобной цепи ждущего мультивибратора, знакомого вам по схеме на рис. 13 *а*,— она дополнена резисторами R7, R8 и конденсатором C6. Что это дает? Такая цепь обеспечивает короткий запускающий импульс мультивибратора независимо от длительности нажатия на кнопку SB1 «Зап.».

Через переключатель SA3 и гнезда XS3, XS4 импульс отрицательной полярности, сформированный ждущим мультивибратором, подают на вход испытываемой микросхемы или нужного каскада устройства. Светодиод HL1 индицирует

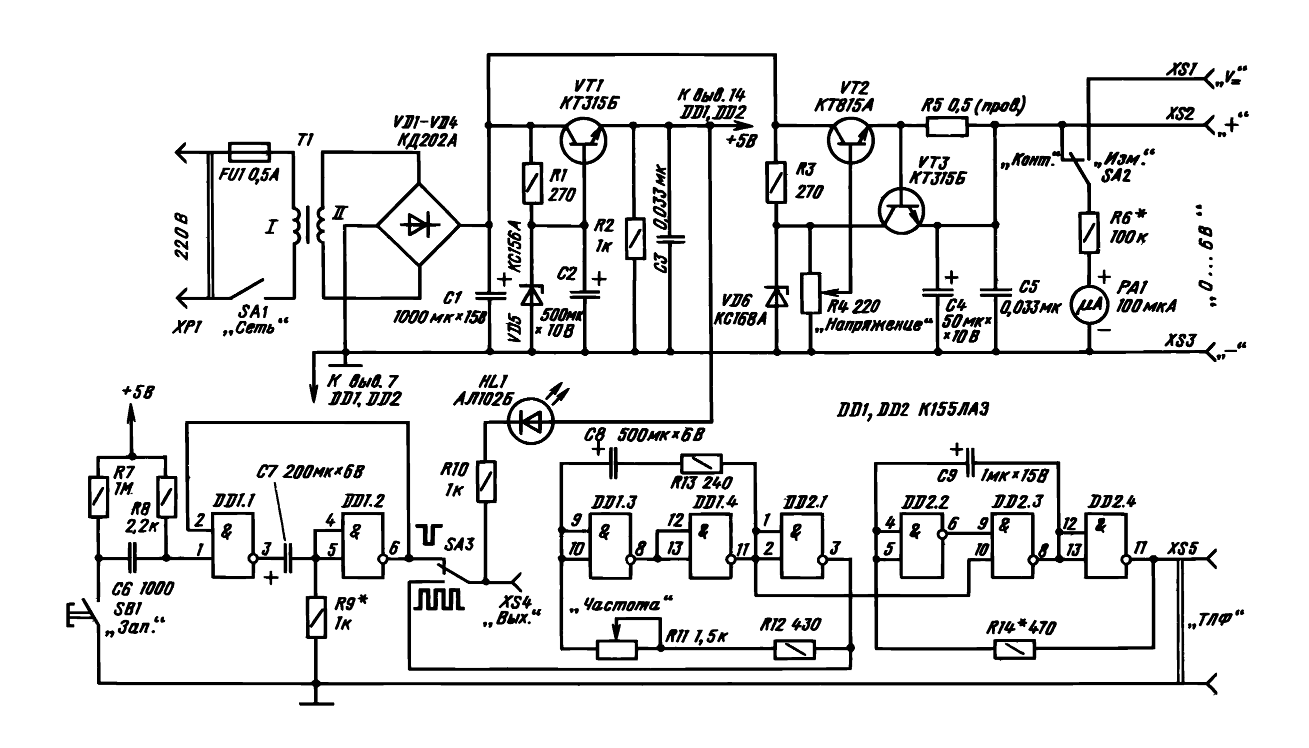


Рис. 20. Схема сетевого блока питания с генераторами испытательных импульсов

появление импульса и его длительность.

Если подвижный контакт переключателя SA3 перевести в нижнее (по схеме) положение, к гнезду XS4 подключается мультивибратор, собранный на элементах DD1.3, DD1.4, DD2.1. Он вырабатывает импульсы положительной полярности, длительность и частоту следования которых можно в некоторых пределах изменять переменным резистором R11 «Частота».

Вы, наверное, заметили, что, в отличие от подобного мультивибратора, рассмотренного ранее (по схеме на рис. 11, *а*), последовательно с конденсатором C8 включен резистор R13. Хотя, в принципе, такого резистора может и не быть, включение его желательно. Дело в том, что в начальный момент зарядки конденсатора большой емкости в его цепи возникает мгновенный ток значительной силы, способный вывести из строя выходной транзистор логического элемента. Резистор же сдерживает скачок тока, предотвращая перегрузку транзистора.

Чтобы можно было контролировать работу второго генератора, к нему подключен вспомогательный мультивибратор, собранный на элементах DD2.2—DD2.4. Генерируемые им импульсы частотой 800...1000 Гц поступают через разъем XS5 на головные телефоны. Звук в телефонах будет лишь тогда, когда на вывод 10 элемента DD2.3 поступает высокий уровень напряжения с контролируемого генератора (с вывода 11 элемента DD1.4).

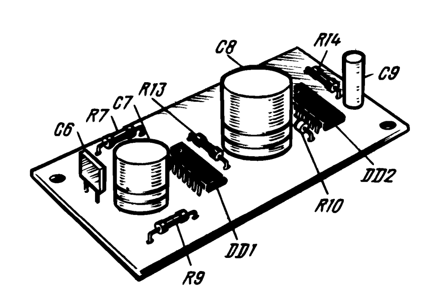
В качестве понижающего можно использовать любой трансформатор мощностью 10...15 Вт с напряжением на вторичной обмотке 9...10 В. Подойдет, к примеру, выходной трансформатор кадровой развертки телевизора ТВК-70Л2 или ТВК-110Л2. При самостоятельном изготовлении трансформатора понадобится магнитопровод Ш20×25 или Ш20×30. Обмотка I должна содержать 2100—2200 витков провода ПЭВ-1 0,12...0,14, обмотка II—95—100 витков провода такой же марки, но диаметром 0,8...1 мм.

Транзисторы VT1 и VT3—любые из серии КТ315, а VT2—любой из серий КТ815, КТ817, П702. Стабилитрон VD5 желательно подобрать с таким напряжением стабилизации, чтобы выходное напряжение первого стабилизатора (на выводах резистора R2) было в пределах 4,75...5,25 В. Стабилитрон VD6—КС168А, КС168В или КС170А. Переменные резисторы—любого типа, постоянные—МЛТ-0,25 и проволочный (R5). Конденсаторы C3 и C5—керамические, остальные—К50-6. Индикатор PA1—микроамперметр типа М24 или М494, рассчитанный на ток полного отклонения стрелки 100...300 мА. Сопротивление резистора R6 должно быть таким, чтобы стрелка индикатора отклонялась на конечное деление шкалы при выбранном пределе измеряемого напряжения—6 или 10 В. Светодиод может быть АЛ102 с буквенными индексами А, Б, Г (красного свечения) или В (зеленого свечения). Выключатели и переключатели—любой конструкции, например КМ-1 (SB1), МТ1 (SA2, SA3), ТВ2-1 (SA1).

Детали выпрямителя и стабилизаторов удобно смонтировать на общей плате, которую затем установите в корпусе прибора. Монтаж—произвольный, поэтому чертежа платы не приводим.

Для монтажа генераторов приготовьте плату размерами 90×40 мм (рис. 21) из любого изоляционного материала. Микросхемы и другие детали размещайте с одной стороны платы, а их выводы, пропущенные через просверленные в плате отверстия, соединяйте отрезками монтажного провода с другой стороны платы.

Рекомендуем придерживаться такого порядка монтажа и проверки работоспособности генераторов. Сначала разместите на плате микросхемы, соедините между собой одноименные выводы питания (7 и 14) и подайте на них напряжение. Измерьте вольтметром постоянного тока напряжения на входных и выходных выводах логических элементов, чтобы убедиться в работоспособности микросхем.



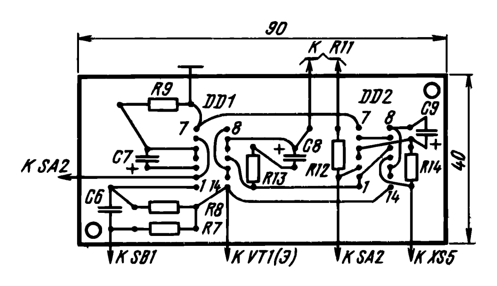


Рис. 21. Плата генераторов испытательных импульсов

Затем, отключив источник питания, смонтируйте только ждущий мультивибратор. Здесь же, на плате, разместите временно светодиод с резистором R10 и подключите нижний (по схеме) вывод резистора к выводу 6 элемента DD1.2. Включите питание и кратковременно замкните вывод 1 элемента DD1.1 на общий провод источника питания. Светодиод, вспыхивая, будет сигнализировать о появлении на выходе мультивибратора одиночного импульса отрицательной полярности. При указанных на схеме номиналах конденсатора C7 и резистора R9 длительность импульса (вспышки светодиода) должна быть около 0,5 с. Подбором резистора R9 длительность импульса можно уменьшить или, наоборот, увеличить. Но его сопротивление не должно быть больше 1,8 кОм, иначе элемент DD1.2 окажется в нулевом состоянии (на выводе 6 будет низкий уровень напряжения) и светодиод будет гореть постоянно.

Далее монтируйте генератор на элементах DD1.3, DD1.4, DD2.1. К его выходу (вывод 3 элемента DD2.1) подключите светодиодный индикатор. Если ошибок в монтаже не будет, сразу же после включения питания светодиод начнет мигать с частотой генерируемых импульсов. Наибольшая длительность импульсов (около 2 с) должна быть при крайнем правом (по схеме) положении движка переменного резистора R11, временно подпаянного к деталям генератора, наименьшая (около 0,1 с) — при крайнем левом, т. е. при наименьшем сопротивлении этого резистора.

Следующий этап — монтаж генератора на элементах DD2.2 — DD2.4. Вывод 10 элемента DD2.3 соедините временно с выводом 9, чтобы превратить его в инвертор. Функцию индикатора работы этого генератора должны выполнять головные телефоны, включенные между выводом 11 элемента DD2.4 и общим проводом источника питания. После включения питания в телефонах должен появиться громкий звук средней тональности. Наиболее приятную по вашему желанию тональность нетрудно установить подбором резистора R14.

После этого вывод 10 элемента DD2.3 отключите от вывода 9 и соедините с выходом элемента DD1.4. Теперь телефоны должны звучать прерывисто, с частотой пульсаций второго генератора.

Остается разместить платы с деталями внутри корпуса прибора (рис. 22) подходящих размеров, а на лицевой стенке корпуса укрепить выключатель питания, переключатели, кнопку запуска, переменные резисторы, светодиод, стрелочный индикатор, гнезда и разъем. Держатель предохранителя с предохранителем установите на задней стенке корпуса.

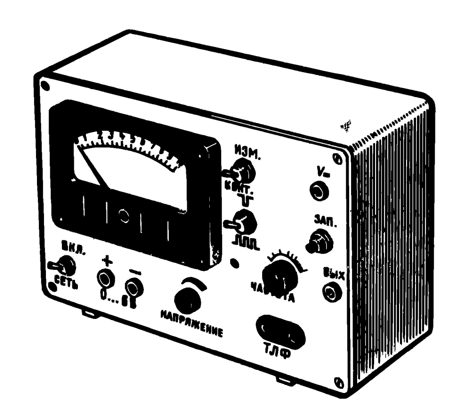


Рис. 22. Внешний вид блока питания с генераторами испытательных импульсов

Соединив платы между собой и с деталями на корпусе, окончательно проверьте работоспособность блока питания и генераторов испытательных импульсов.

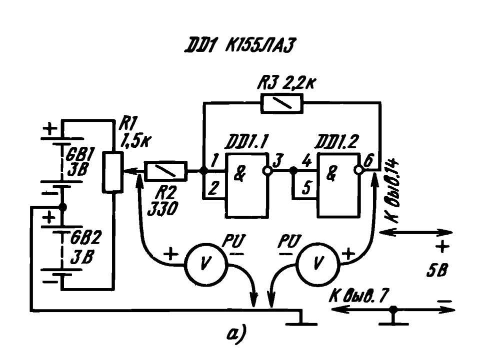
ПРОСТОЙ ЧАСТОТОМЕР

На базе только одной микросхемы К155ЛА3, используя все ее логические элементы 2И-НЕ, можно построить сравнительно простой прибор, способный измерять частоту переменного напряжения примерно от 20 Гц до 20 кГц. Входным элементом такого измерительного прибора колебаний звуковой частоты служит триггер Шмитта — устройство, преобразующее подаваемое на его вход переменное напряжение синусоидальной формы в электрические импульсы такой же частоты. Без такого преобразования аналогового сигнала логические элементы работать не будут, причем триггер Шмитта «срабатывает» при определенной амплитуде входного сигнала. Если она меньше порогового значения, импульсного сигнала на выходе триггера не будет.

Начнем с опыта.

Триггер Шмитта. Пользуясь схемой, показанной на рис. 23, *а*, смонтируйте на макетной панели микросхему К155ЛА3, включив в работу только два ее логических элемента. Здесь же, на панели, разместите батареи GB1 и GB2, составленные из четырех гальванических элементов 332 или 316, и переменный резистор R1 сопротивлением 1,5 или 2,2 кОм (желательно с функциональной характеристикой А — линейной). Выводы батарей подключайте к резистору только на время опытов.

Включите питание микросхемы и по вольтметру постоянного тока установите



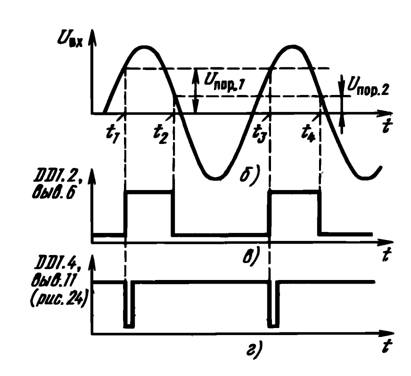


Рис. 23. Опытный триггер Шмитта и графики, иллюстрирующие его работу

движок переменного резистора в такое положение, при котором на левом, по схеме, выводе резистора R2, являющемся входом триггера Шмитта, будет нулевое напряжение. При этом элемент DD1.1 окажется в единичном состоянии — на его выходном выводе 3 будет напряжение высокого уровня, а элемент DD1.2 — в нулевом. Таково исходное состояние элементов этого триггера.

Теперь вольтметр постоянного тока подключите к выходу элемента DD1.2 и, внимательно наблюдая за его стрелкой, начинайте плавно перемещать движок переменного резистора в сторону верхнего, по схеме, вывода, а затем, не останавливаясь, в обратную сторону — до нижнего вывода, далее — до верхнего и т. д. Что при этом фиксирует вольтметр? Периодическое переключение элемента DD1.2 из нулевого состояния в единичное, т. е., иначе говоря, появление на выходе триггера импульсов положительной полярности.

Взгляните на графики *б* и *в* на том же рис. 23, которые иллюстрируют работу триггера. Перемещением движка переменного резистора из одного крайнего положения в другое вы имитировали подачу на вход опытного устройства переменного напряжения синусоидальной формы (см. рис. 23,*б*) амплитудой до 3 В. Пока напряжение положительной полуволны этого сигнала было меньше порогового ($V_{пор1}$), устройство сохраняло исходное состояние. При достижении же порогового напряжения, равного примерно 1,7 В (в момент t_1), оба элемента переключились в противоположные состояния и на выходе триггера (вывод 6 элемента DD1.2) появилось напряжение высокого уровня. Дальнейшее повышение положительного напряжения на входе не изменило этого состояния элементов триггера. А вот при перемещении движка в обратную сторону, когда напряжение на входе триггера снизилось примерно до 0,5 В (момент t_2), оба элемента переключились в первоначальное состояние. На выходе триггера вновь появился высокий уровень напряжения.

Отрицательная полуволна не изменила этого состояния элементов, образующих триггер Шмитта, поскольку оказалась замкнутой на общий проводник источника питания через внутренние диоды входной цепи элемента DD1.1.

При следующей положительной полуволне входного переменного напряжения на выходе триггера сформируется второй импульс положительной полярности (моменты t_3 и t_4).

Повторите этот опыт несколько раз и по показаниям вольтметров, подключенных ко входу и выходу триггера, постройте графики, характеризующие его работу. Они должны получиться такими же, как и те, что на графиках рис. 23. Два разных по уровню порога срабатывания элементов — наиболее характерная особенность триггера Шмитта.

Принципиальная схема предлагаемого для повторения частотомера приведена на рис. 24. Логические элементы DD1.1, DD1.2 и резисторы R1 — R3 образуют триггер Шмитта, а два других элемента той же микросхемы — формирователь его выходных импульсов, от частоты следования которых зависят показания микроамперметра PA1. Без формирователя прибор не даст достоверных результатов измерения, потому что длительность импульсов на выходе триггера зависит от частоты входного измеряемого переменного напряжения.

Конденсатор C1 — разделительный. Пропуская широкую полосу колебаний звуковой частоты, он преграждает путь постоянной составляющей источника сигнала. Диод VD2 замыкает на общий провод цепи питания отрицательные полуволны напряжения (в принципе этого

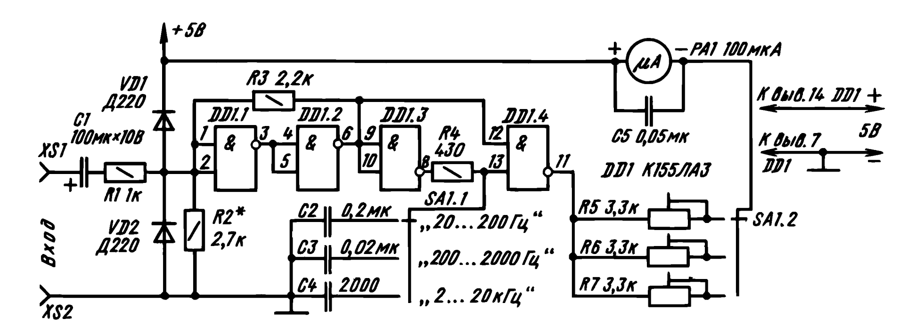


Рис. 24. Принципиальная схема простейшего частотомера

диода может и не быть, поскольку его функцию способны выполнять внутренние диоды на входе элемента DD1.1), диод VD1 ограничивает амплитуду положительных полуволн, поступивших на входы первого элемента, на уровне напряжения источника питания.

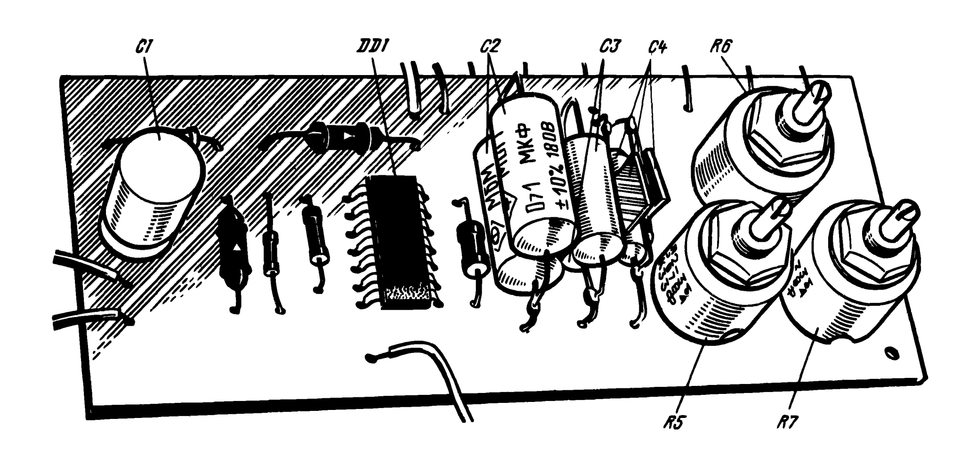
С выхода триггера (вывод 6 элемента DD1.2) импульсы положительной полярности поступают на вход формирователя. Работает формирователь так. Элемент DD1.3 включен инвертором, а DD1.4 используется по своему прямому назначению — как логический элемент 2И-НЕ. Как только на входе формирователя (выводы 9, 10 элемента DD1.3) появляется напряжение низкого уровня, элемент DD1.3 переключается в единичное состояние и через него и резистор R4 заряжается один из конденсаторов C2—C4. По мере зарядки конденсатора положительное напряжение на выводе 13 элемента DD1.4 повышается до высокого уровня. Но этот элемент остается в единичном состоянии, так как на втором его входном выводе 12, как и на выходе триггера Шмитта, низкий уровень напряжения. В таком режиме через микроамперметр протекает незначительный ток.

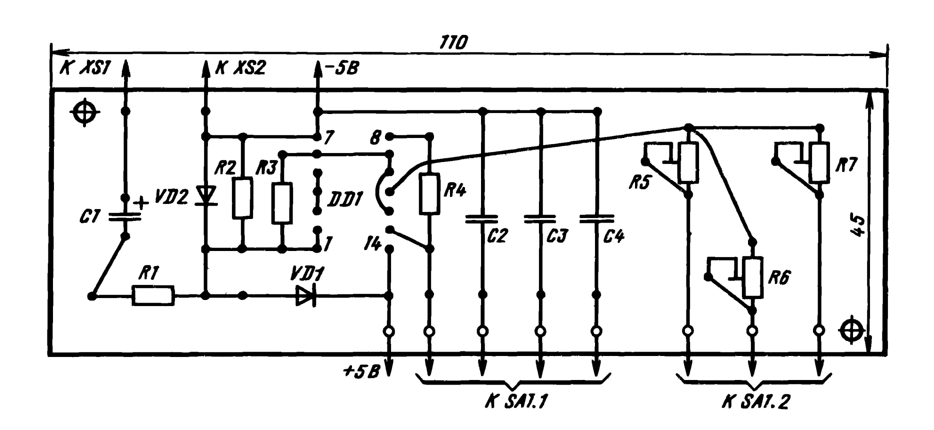
Как только на выходе триггера Шмитта появляется напряжение высокого уровня, элемент DD1.4 переключается в нулевое состояние и через микроамперметр начинает протекать значительный ток. Одновременно элемент DD1.3 переключается в нулевое состояние, и конденсатор формирователя начинает разряжаться. Когда напряжение на нем снизится до порогового, элемент DD1.4 вновь переключится в единичное состояние. Таким образом, на выходе формирователя появляется импульс отрицательной полярности (см. рис. 23,г), в течение которого через микроамперметр протекает ток, значительно больший, чем начальный. Угол отклонения стрелки микроамперметра пропорционален частоте следования импульсов: чем она больше, тем на больший угол отклоняется стрелка.

Длительность импульсов на выходе формирователя определяется продолжительностью разрядки включенного времязадающего конденсатора (C2, C3 или C4) до напряжения срабатывания элемента DD1.4. Чем меньше его емкость, тем короче импульс, тем большую частоту входного сигнала можно измерить. Так, с времязадающим конденсатором C2 емкостью 0,2 мкФ прибор способен измерять частоту колебаний ориентировочно от 20 до 200 Гц, с конденсатором C3 емкостью 0,02 мкФ — от 200 до 2000 Гц, с конденсатором C4 емкостью 2000 пФ — от 2 до 20 кГц. Подстроечными резисторами R5—R7 стрелку микроамперметра устанавливают на конечную отметку шкалы, соответствующую наибольшей измеряемой частоте соответствующего поддиапазона. Минимальный уровень переменного напряжения, частоту которого можно измерить, около 1,5 В.

Еще раз проанализируйте графики на рис. 23, чтобы закрепить в памяти принцип работы частотомера, а затем дополните опытный триггер Шмитта деталями входной цепи и формирователя и испытайте устройство в действии на макетной панели. На это время переключатель поддиапазонов не нужен — времязадающий конденсатор, например C2, можно подключить непосредственно к выводу 13 элемента DD1.4, а в цепь микроамперметра включить один из подстроечных резисторов или постоянный резистор сопротивлением 2,2...3,3 кОм. Микроамперметр PA1 на ток полного отклонения стрелки 100 мкА такой же, как в сетевом блоке питания.

Налаживание. Закончив монтаж, включите источник питания и подайте на входные выводы 1, 2 первого элемента триггера Шмитта импульсы положительной полярности. Их источником может быть описанный выше генератор испытательных импульсов или другой аналогич-





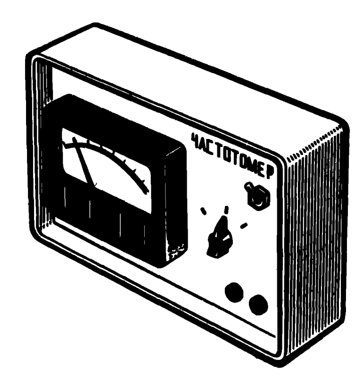


Рис. 25. Монтаж деталей частотомера и возможный вариант его конструкции

ный генератор. Частоту следования импульсов установите минимальную. При этом стрелка микроамперметра должна резко отклоняться на некоторый угол и возвращаться к нулевой отметке шкалы, что будет свидетельствовать о работоспособности частотомера. Если же микроамперметр не реагирует на входные импульсы, придется подобрать точнее резистор R2: его сопротивление может быть от 1,8 до 5,1 кОм.

Далее подайте на вход прибора (через конденсатор C1) переменное напряжение 3...5 В с понижающего сетевого трансформатора. Теперь стрелка микроамперметра должна отклониться на некоторый угол, соответствующий частоте 50 Гц. Подключите параллельно времязадающему конденсатору еще один такой же или большей емкости. Угол отклонения стрелки увеличится.

Точно так же можно испытать устройство на втором и третьем поддиапазонах измерения, но при входных сигналах соответствующих частот.

После этого детали частотомера можно перенести с макетной панели на монтажную плату и укрепить на ней подстроечные резисторы R5—R7 (рис. 25), а плату укрепить в корпусе, конструкция которого может быть произвольная. Конденсаторы C2 и C3 составлены из двух конденсаторов каждый, а C4 из трех. На лицевой стенке корпуса разместите микроамперметр, переключатель поддиапазонов (например, галетный 3П3Н или другой с двумя секциями на три положения), входные гнезда (XS1, XS2) или зажимы.

Впрочем, возможно и другое конструктивное решение: плату частотомера можно встроить в корпус блока питания и его же микроамперметр использовать при измерении частоты электрических колебаний.

Шкала частотомера — общая для всех поддиапазонов измерения и практически равномерная. Поэтому надо только определить начальную и конечную границы шкалы применительно к одному из них — к поддиапазону «20...200 Гц», после чего подогнать под нее границы частот двух других поддиапазонов измерения. В дальнейшем при переключении прибора на поддиапазон «200...2000 Гц» результат измерений, считанный по шкале, будете умножать на 10, а при измерении в поддиапазоне «2...20 кГц» — на 100.

Техника градуировки такова. Переключатель SA1 установите в положение измерения в поддиапазоне «20...200 Гц», движок подстроечного резистора R5 — в положение наибольшего сопротивления и подайте на вход частотомера от звукового генератора, например Г3-33, сигнал частотой 20 Гц напряжением 1,5...2 В. Сделайте на шкале отметку, соответствующую углу отклонения стрелки микроамперметра. Затем звуковой генератор перестройте на частоту 200 Гц и подстроечным резистором R5 установите стрелку прибора на конечную отметку шкалы. После этого по сигналам звукового генератора сделайте на шкале отметки, соответствующие частотам 30, 40, 50 и т. д. до 190 Гц. Позже эти участки шкалы разделите еще на несколько частей, каждая из которых будет соответствовать численному значению частоты измеряемого сигнала.

Затем частотомер переключите на второй поддиапазон измерений, подайте на его вход сигнал частотой 2000 Гц и подстроечным резистором R6 установите стрелку микроамперметра на конечную отметку шкалы. После этого на вход прибора подайте от генератора сигнал частотой 200 Гц. При этом стрелка микроамперметра должна установиться против начальной отметки шкалы, соответствующей частоте 20 Гц первого поддиапазона. Точнее установить ее на эту исходную отметку шкалы можно заменой конденсатора C3 или подключением параллельно ему второго конденсатора, несколько увеличивающего их общую емкость.

Аналогично подгоняйте под шкалу микроамперметра границы третьего поддиапазона измеряемых частот 2...20 кГц.

Возможно, пределы измерения частоты на поддиапазонах получатся иные, или вы захотите изменить их. Делайте это подбором времязадающих конденсаторов C2—C4.

Улучшение чувствительности. А может быть вы пожелаете повысить чувствительность частотомера? В таком случае простейший частотомер придется дополнить усилителем входного сигнала, используя для этого, например, аналоговую микросхему К118УП1Г (рис. 26). Эта микросхема представляет собой трехкаскадный усилитель для видеоканалов телевизионных приемников, облада-

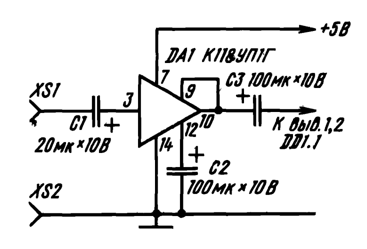


Рис. 26. Усилитель, повышающий чувствительность простейшего частотомера

ющий большим коэффициентом усиления. Ее корпус с 14 выводами такой же, как у микросхемы К155ЛА3, но положительное напряжение источника питания подают на вывод 7, а отрицательное — на вывод 14. С таким усилителем чувствительность частотомера увеличится до 30...50 мВ.

Колебания измеряемой частоты могут быть синусоидальными, прямоугольными, пилообразными — любыми. Через конденсатор С1 они поступают на вход (вывод 3) микросхемы DA1, усиливаются и далее через выходной вывод 10 (соединенный с выводом 9) и конденсатор С3 подаются на вход триггера Шмитта частотомера. Конденсатор С2 устраняет внутреннюю отрицательную обратную связь, ослабляющую усилительные свойства микросхемы.

Диоды VD1, VD2 и резистор R1 (рис. 24) теперь можно удалить, а на их месте смонтировать микросхему и дополнительные электролитические конденсаторы. Микросхему К118УП1Г можно заменить на К118УП1В или К118УП1А. Но в этом случае чувствительность частотомера несколько ухудшится.

ТРИГГЕРЫ

Триггерами называют электронные устройства с двумя устойчивыми электрическими состояниями. Переключение триггера из одного устойчивого состояния в другое происходит под воздействием входных импульсов. Каждому из двух состояний триггера соответствует свой фиксированный уровень выходного напряжения, что в вычислительной технике широко используется для хранения цифровой информации. В свою очередь триггеры являются основой счетчиков импульсов, делителей частоты, дешифраторов и многих других цифровых микросхем функционального назначения.

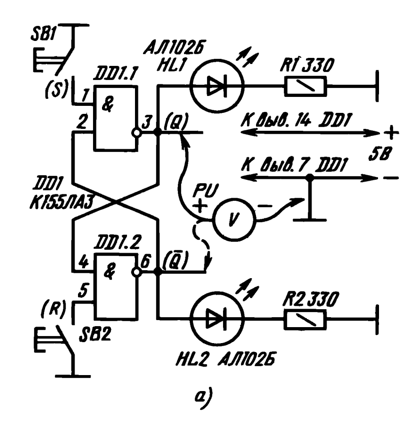
В любительской цифровой технике применяются преимущественно так называемые RS-, D- и JK-триггеры. Что представляют собой эти логические устройства, каковы их электрические свойства и принципы действия?

Начнем с RS-триггера — самого простого из «семейства» триггеров.

RS-ТРИГГЕР

Сразу же уточним: в серии микросхем К155 RS-триггеров нет, их обычно составляют из логических элементов, например элементов 2И-НЕ микросхемы К155ЛА3. Схему такого варианта RS-триггера вы видите на рис. 27, *а*. Его образуют два элемента 2И-НЕ с перекрестными обратными связями между их входами и выходами. У триггера два независимых входа и столько же выходов. Первый вход — вывод 1 элемента DD1.1, второй — вывод 5 элемента DD1.2, а выходы — соответственно выводы 3 и 6 этих элементов.

Чтобы лучше разобраться в работе нашего RS-триггера, смонтируйте показанные на схеме детали на макетной панели и проведите несколько опытов. Вместо светодиодов, индицирующих состояния триггера, можно использовать знакомые вам транзисторные индикато-



S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	X

б)

Рис. 27. Опытный RS-триггер

ры с лампами накаливания. Индицировать состояния элементов триггера нетрудно и с помощью вольтметра постоянного тока, подключая его попеременно к выходам элементов. Вместо кнопочных выключателей без фиксации можно использовать отрезки монтажного провода, которыми будете имитировать подачу на входы триггера напряжение отрицательной полярности.

Сверив монтаж опытного триггера с его схемой и убедившись в отсутствии ошибок, в надежности паек, включите питание. Сразу же должен загореться один из светодиодов. Предположим, это будет светодиод HL1. Значит, первым в единичном состоянии оказался элемент DD1.1, что подтвердит и вольтметр, подключенный к его выходному выводу 3 — здесь должно быть напряжение высокого уровня. Измерьте напряжение на выходе элемента DD1.2 — здесь будет низкий уровень, поэтому светодиод HL2 и не горит.

Записав результаты измерений, замкните кратковременно контакты кнопки SB1. Что изменилось? Ничего. Попрежнему горит только светодиод HL1. А если кратковременно нажать кнопку SB2? Сразу же погаснет светодиод HL1 и загорится HL2. Теперь элемент DD1.1 будет в нулевом состоянии, а DD1.2 — в единичном. В таком состоянии элементы могут находиться сколько угодно времени — до тех пор, пока не выключат питание. Но сто́ит еще раз нажать кнопку SB1 — и элементы переключатся в противоположное состояние.

Проанализируем работу опытного триггера. При включении питания один из его логических элементов первым оказался в нулевом состоянии. Допустим, это был элемент DD1.2. В этот момент, следовательно, и на входном выводе 2 элемента DD1.1, соединенном с выводом 6 элемента DD1.2, появилось напряжение низкого уровня, которое установило элемент в единичное состояние — загорелся светодиод HL1. Имитация подачи импульса отрицательной полярности на входной вывод 1 элемента DD1.1 (кнопкой, SB1) не могла изменить его состояние, поскольку в это время на втором его входном выводе уже был низкий уровень напряжения.

Когда же кратковременно нажали кнопку SB2, на свободный вход 5 элемента DD1.2 поступил импульс отрицательной полярности. Переключаясь в единичное состояние, этот элемент напряжением высокого уровня, появившимся на его выходе, переключил элемент DD1.1 в нулевое состояние. Переключение этого элемента в нулевое состояние оказалось возможным, так как в этот момент вход 1 был разомкнут, что равнозначно подаче на него напряжения высокого уровня.

Так, поочередно нажимая кнопки входных цепей, можно переключать триггер из одного устойчивого состояния в другое и тем самым управлять различными приборами и устройствами цифровой техники, подключенными к его выходам.

Логическое состояние RS-триггера характеризуют уровнем сигнала на его так называемом прямом выходе, обозначаемом латинской буквой Q. В опытном триггере его Q-выходом является вывод 3 микросхемы. Если здесь высокий уровень напряжения, значит, триггер в целом находится в единичном состоянии, а если низкий уровень — в нулевом.

При единичном состоянии триггера на его втором выходе будет напряжение низкого уровня, а при нулевом состоянии — высокого уровня. Вот почему этот выход обозначают такой же буквой, но с черточкой вверху — $\bar{Q}$, что означает инверсный.

Входной вывод, через который триггер устанавливают в единичное состояние, обозначают буквой S (начальная буква английского Set — установка). Другой же входной вывод, через который триггер переключают в нулевое состояние, обозначают буквой R (от слова Reset — возврат). Следовательно, в опытном триггере вывод 1 микросхемы можно считать S-входом, а вывод 5 — R-входом.

Строго говоря, входы S и R опытного триггера надо бы писать с черточками вверху, так как полярность импульсов, подаваемых на них для переключения триггера из одного состояния в другое, отрицательная. Они, следовательно, инверсные, т. е. $\bar{S}$ и $\bar{R}$, а RS-триггер такого варианта — асинхронный с установочными входами.

Состояния триггера в зависимости от входных сигналов иллюстрирует таблица на рис. 27, *б*. О чем она может рассказать? Если на оба входа триггера подать напряжения низкого уровня, например нажав одновременно обе кнопки, на обоих его выходах будут напряжения высокого уровня. Такое состояние триггера противоречит логике его действия, поэтому подобное сочетание сигналов принято считать недопустимым.

Сочетание напряжений низкого уровня на S-входе и высокого уровня на R-входе приводит триггер в единичное состояние, а противоположное сочетание уровней напряжения — в нулевое. При появлении же на обоих входах напряжения высокого уровня (логической 1) не изменяется состояние триггера — на это указывают крестики в таблице.

Проверьте практически справедливость таблицы. Подачу на входы импульсов, соответствующих высокому уровню

напряжения, имитируйте размыканием контактов кнопок SB1, SB2.

RS-триггеры наиболее широко используют в качестве ячеек хранения цифровой информации, т. е. как элементы памяти. Они находят применение в различных радиолюбительских приборах, электронных автоматах. Вот одна из практических конструкций.

ИГРОВОЙ АВТОМАТ НА RS-ТРИГГЕРАХ

Он состоит из четырех последовательно соединенных RS-триггеров (рис. 28, *а*), образованных логическими элементами 2И-НЕ двух микросхем К155ЛА3, светодиодных индикаторов HL1 и HL2, кнопочного выключателя SB1 и четырех групп замыкающихся контактов, обозначенных на схеме в виде выключателей SA1—SA4. Задача играющего—возможно быстрее зажечь светодиод HL2 «Финиш» последовательным замыканием контактов SA1, SA2 и т. д. Но сделать это, как вы увидите позже, не так просто.

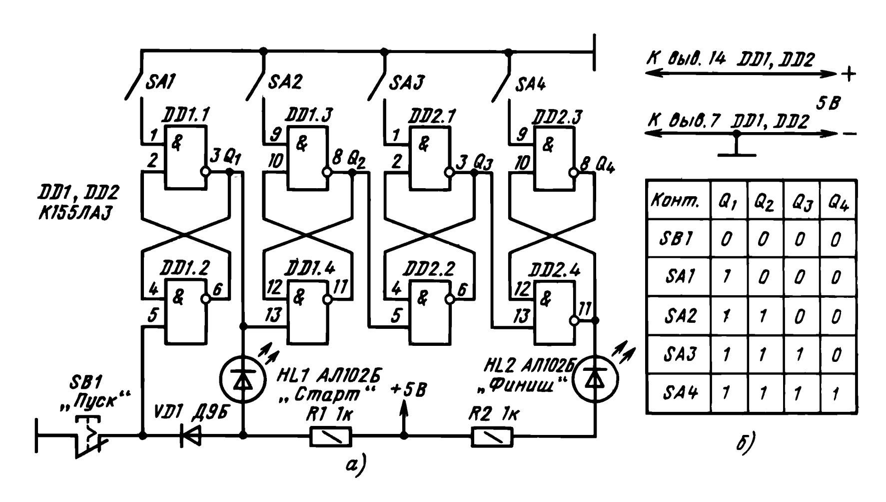
Автомат работает так. Пока контакты кнопки SB1 «Пуск» замкнуты, все триггеры находятся в нулевом состоянии и индикаторы не светятся. При размыкании контактов пусковой кнопки зажигается светодиод HL1, сигнализируя о начале игры. Но триггеры продолжают сохранять нулевое состояние. Последовательное кратковременное замыкание контактов выключателей приводит к переключению в единичное состояние первого триггера (при этом светодиод HL1 гаснет), а затем остальных. Одновременно с переключением последнего триггера вспыхивает светодиод HL2, извещая о правильном выполнении задания.

Состояния триггеров автомата, которые они принимают при нажатии на кнопку пуска и правильном выполнении задания, можно проследить по таблице, приведенной на рис. 28, *б*. Когда пусковую кнопку отпускают и ее контакты вновь замыкаются, триггеры переключаются в нулевое состояние, светодиод HL2 гаснет.

Большую часть деталей игрового автомата можно смонтировать на плате так, как показано на рис. 29, *а, в*. Пусковая кнопка SB1—с возвратом повторным нажатием. Подойдет, например, кнопочный выключатель, используемый в настольных лампах, или двухпозиционный тумблер. Конструкция контактов SA1—SA4 зависит от игры, в которой будете использовать автомат. Если это игра с условным названием «Закати шарик», то контакты могут представлять собой металлические пластинки, прикрепленные к крышке коробки под четырьмя отверстиями в ней (рис. 29, *б*). Сама коробка круглая, диаметром 200...300 мм с бортиком, чтобы шарик не выскакивал из нее.

Держа коробку в руках и покачивая ее из стороны в сторону, играющий должен закатить металлический шарик диаметром 15...20 мм в отверстия в той последовательности, которая обозначена на крышке (это игровое поле) стрелками. Попадая в отверстие, шарик замыкает собой контакты и тем самым подает импульс на вход соответствующего триггера.

Электронную «начинку» вместе с источником питания (батарея 3336Л) надо



Конт.	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
SB1	0	0	0	0
SA1	1	0	0	0
SA2	1	1	0	0
SA3	1	1	1	0
SA4	1	1	1	1

Рис. 28. Схема игрового автомата на RS-триггерах

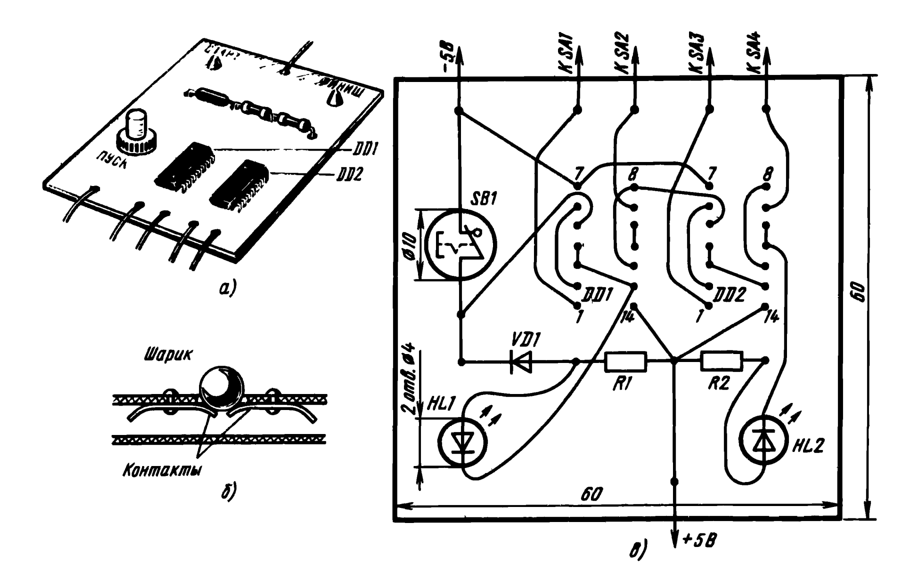


Рис. 29. Монтаж игрового автомата

разместить внутри коробки так, чтобы был доступ к пусковой кнопке SB1 и были видны светодиоды. Не забудьте ещё поставить в цепь питающей батареи выключатель.

Два таких устройства, запускаемых общей кнопкой на выносном пульте управления, позволят двум играющим состязаться в ловкости закатывания шарика в заданной последовательности.

Другой пример возможного применения игрового автомата — тир для скоростной «стрельбы» по четырем мишеням теннисными мячами. Каждой мишенью служит подвешенная жестяная пластинка диаметром 60...80 мм, изолированная от находящейся за ней, вторая такая же пластинка. При точном попадании мячом пластинки кратковременно замыкаются и соответствующий им триггер переключается в единичное состояние. Побеждает команда, которая меньшим числом брошенных мячей поразит в определенной последовательности все мишени.

Можно, конечно, придумать и другие возможные применения автомата на RS-триггерах.

RS-триггер, в работе которого вы, надеемся, разобрались, переключается из одного устойчивого состояния в другое, т. е. противоположное предыдущему, сразу же после изменения уровней сигнала на его входе. Подобные триггеры называют асинхронными с установочными входами, простыми или обычными. Однако в приборах и устройствах цифровой техники чаще используют синхронные триггеры с расширенной логикой действия, например D-триггеры.

D-ТРИГГЕР

Из нескольких разновидностей D-триггеров микросхем серии К155 наибольшей популярностью у радиолюбителей пользуются триггеры микросхемы К155ТМ2 (рис. 30, *а*). В ней два D-триггера, связанных между собой общей цепью питания, но работающих независимо один от другого. У каждого из них четыре логических входа и два выхода — прямой и инверсный. Вход D — вход приема цифровой информации, а С — вход

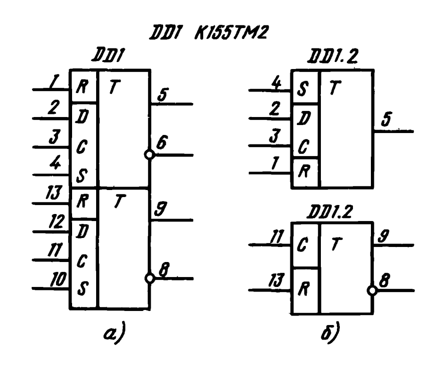


Рис. 30. Условные графические обозначения D-триггеров

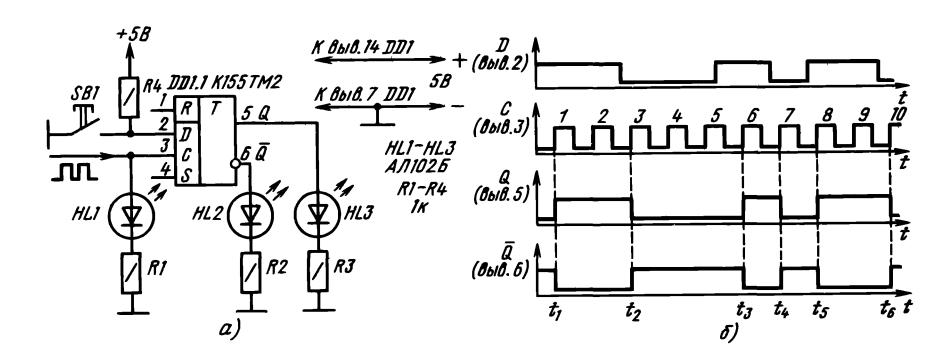


Рис. 31. Опыты с D-триггерами микросхемы К155ТМ2

тактовых импульсов синхронизации, источником которых обычно служит генератор прямоугольных импульсов. По входам R и S D-триггер работает так же, как RS-триггер: при подаче на вход R напряжения низкого уровня D-триггер устанавливается в нулевое состояние, на вход S — в единичное. По входам D и C он может функционировать как ячейка памяти принятой информации или как триггер со счетным входом.

D-триггеры микросхемы К155ТМ2 на принципиальных схемах устройств цифровой техники изображают обычно не слитно, как на рис. 30, *а*, а раздельно в различных участках схем (рис. 30, *б*). При этом допускается не показывать выводы, которые в устройстве не используются. Этих правил будем придерживаться и мы.

Предлагаем несколько опытов и экспериментов, которые помогут осмыслить логику действия D-триггера в разных режимах работы.

Микросхему К155ТМ2 разместите на макетной панели, соедините вывод 14 с плюсовой, а вывод 7 с минусовой шинами источника питания. К выводам прямого и инверсного выходов любого из ее D-триггеров, например к выводам 5 и 6 (рис. 31, *а*), подключите светодиодные (или транзисторные с лампами накаливания в коллекторных цепях) индикаторы, по свечению которых будете судить о логическом состоянии триггера. Такой же индикатор подключите и к выводу 3. По свечению этого индикатора будете наблюдать за появлением и длительностью тактовых импульсов синхронизации. На панели смонтируйте также кнопочный выключатель SB1 и резистор R4, но к входу D вывод 2 триггера эту цепь пока не подключайте.

Включите источник питания. Сразу же должен загореться один из выходных индикаторов. Если это светодиод HL3, значит триггер принял единичное состояние, а если HL2 — нулевое. Теперь поочередно кратковременно замкните несколько раз выводы 1 и 4 входов R и S на общую шину цепи питания. Такой опыт вас убедит, что по этим входам D-триггер работает так же, как RS-триггер.

Далее подключите к выводу 2 информационного входа D резистор R4 с кнопочным выключателем SB1. Запишите начальное состояние триггера, а затем несколько раз подряд нажмите кнопку. Как на это реагирует триггер? Никак — продолжает гореть тот же индикатор.

Кратковременным соединением входа R или S с общей шиной питания переключите триггер в другое устойчивое состояние и вновь несколько раз нажмите кнопку SB1. И теперь, как видите, триггер не реагирует на входные сигналы. Это происходит потому, что на вход C не поступают синхронизирующие импульсы положительной полярности.

Для опытной проверки D-триггера источником тактовых сигналов синхронизации может служить генератор испытательных импульсов переменной частоты, о котором рассказывалось выше (см. рис. 20). Соедините его выход с выводом 3 входа C триггера, установите наибольшую длительность генерируемых импульсов и, включив питание, следите за поведением входного и выходных индикаторов. Если до этого триггер находится в нулевом состоянии, а контакты кнопки SB1 были разомкнуты, то по фронту первого же импульса на входе C триггер должен переключиться в единичное состояние и не реагировать на последующие тактовые импульсы. Но сто́ит нажать на кнопку, чтобы подать на информационный вход сигнал низкого уровня, и триггер по фронту очередного тактового импульса тут же переключится в противоположное состояние.

Работу D-триггера в таком режиме иллюстрируют графики, приведенные на рис. 31, *б*. Считаем, что в начале опыта,

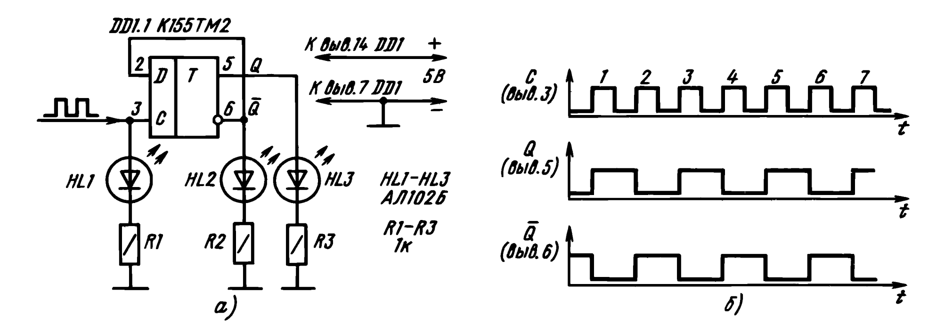


Рис. 32. D-триггер со счетным входом

когда контакты кнопки SB1 были еще не замкнуты и, следовательно, сигнал на D-входе соответствовал напряжению высокого уровня, триггер был в нулевом состоянии (на выходе Q-низкий, на выходе $\bar{Q}$ — высокий уровни напряжения). Первый же импульс на входе С своим фронтом переключил триггер в единичное устойчивое состояние. На спад этого импульса и на второй импульс триггер не реагировал и сохранял принятое состояние.

Затем нажали на кнопку SB1, чтобы изменить уровень входного сигнала. В результате третий тактовый импульс своим фронтом сразу же переключил триггер в нулевое состояние, которое сохранялось до прихода шестого импульса, когда кнопку отпустили и на входе D уже был сигнал высокого уровня. Далее при изменении уровней входного сигнала триггер переключился в нулевое состояние по фронту седьмого тактового импульса, а по фронту восьмого — в единичное.

Эти опыты и графики, характеризующие логику действия D-триггера в режиме приема информации, позволяют сделать выводы: если на входе D сигнал высокого уровня, триггер по фронту тактового импульса на входе С устанавливается в единичное состояние, а если низкого, то в нулевое. На спады синхронизирующих импульсов D-триггер не реагирует. Каждое изменившееся состояние триггера означает запись в его память принятой информации, которая может быть считана или передана для расшифровки другому логическому устройству цифровой техники.

Следующий опыт — испытание D-триггера в режиме счета, т. е. как триггера со счетным входом. Для этого от входа D отключите резистор R4 с кнопочным выключателем SB1 и соедините его с инверсным выходом $\bar{Q}$, как показано на рис. 32, *а*. Теперь информационным входом триггера будет вход С. Подайте на него от генератора серию импульсов большой длительности. Как ведет себя D-триггер? По фронту первого же входного импульса он принимает единичное состояние, по фронту второго — нулевое, по фронту третьего — снова единичное и т. д. Следовательно, в таком режиме работы триггер по фронту каждого входного импульса меняет свое логическое состояние на противоположное. В результате частота импульсов на каждом выходе триггера оказывается вдвое меньшей частоты входных импульсов.

По проведенному опыту постройте графики, иллюстрирующие работу D-триггера в этом режиме. Они должны получиться такими же, что и изображенные на рис. 32, *б*. Вывод напрашивается сам — в таком режиме D-триггер делит частоту входного сигнала на 2, т. е. выполняет функцию двоичного счетчика.

JK-ТРИГГЕР

В серии К155 JK-триггером, обладающим, как и D-триггер, расширенной логикой действия, является микросхема К155ТВ1 (рис. 33, *а*). У триггера такой разновидности девять входов, прямой и инверсный выходы. По входам R и S он работает, как RS-триггер. Входы J и К — управляющие, причем каждый из них имеет по три входных вывода (3—5 и 9—11), объединенных по схеме логического элемента 3И, о чем свидетельствуют знаки «&» возле них. Вход С по функциональному назначению подобен одноименному входу D-триггера. В режиме приема и хранения информации он служит входом тактовых импульсов, а в счетном режиме — информационным входом. Выводы JK-триггера, которые в устройстве не используются, на схемах обычно не показывают (рис. 33, *б*).

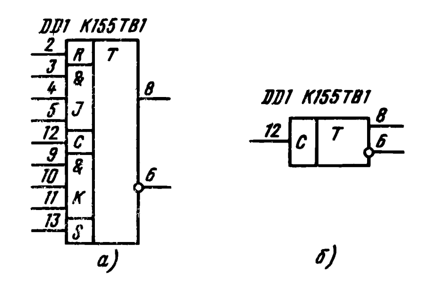


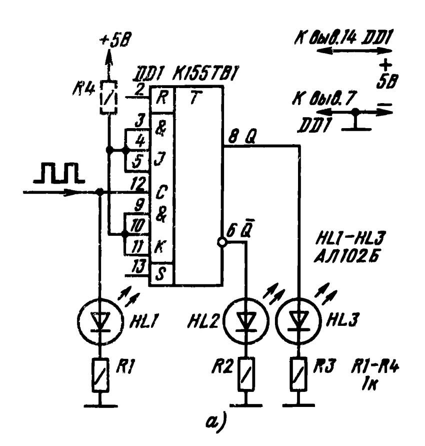
Рис. 33. Условное графическое обозначение JK-триггера К155ТВ1

Опытную проверку JK-триггера ведите на макетной панели в таком порядке. Микросхему К155ТВ1 соедините с соответствующими шинами источника питания, а к выводу 12 входа С и выводам 8 и 6 прямого и инверсного выходов подключите светодиодные (или транзисторные) индикаторы (рис. 34, *а*). Индицировать логические состояния триггера можно, конечно, вольтметром постоянного тока, но это менее наглядно.

Включите питание. Сразу же должен загореться один из выходных индикаторов. Замкните кратковременно на общую шину вывод 2, затем вывод 13, далее снова вывод 2 и т. д. При этом выходные индикаторы должны поочередно зажигаться и гаснуть. Так вы проверите работоспособность JK-триггера.

Далее испытывайте триггер в режиме счета входных импульсов. Для этого объедините выводы всех входов J и K и через резистор R4, показанный на рис. 34, *а* штриховыми линиями, соедините их с плюсовой шиной источника питания, чтобы подать на них напряжение высокого уровня. Впрочем, как вы уже знаете, резистор R4 необязателен — на объединенных входах J и K, если их оставить свободными, будет напряжение высокого уровня. На вход С подайте от генератора серию импульсов большой длительности и по моментам зажигания и длительности свечения индикаторов постройте графики работы триггера в таком режиме. Они должны получиться такими же, что на рис. 34, *б*. Нетрудно заметить, что эти графики схожи с графиками счетного D-триггера (см. рис. 32, *б*), только сдвинуты вправо на длительность одного импульса. Сдвиг этот объясняется тем, что D-триггер изменяет свое состояние на противоположное по фронту, а JK-триггер — по спаду входного импульса. Конечный же результат одинаков: триггер делит частоту входных импульсов на 2.

Запомните основные свойства JK-триггера. При напряжении высокого уровня на всех входах J и K он работает как триггер со счетным входом, т. е. по спаду каждого положительного импульса на тактовом входе С меняет свое логическое состояние на противоположное. Если хотя бы на одном входе J и на одном входе K одновременно действует напряжение низкого уровня, то при подаче на вход С импульсов состояние триггера не меняется. В том же случае, если на всех входах J высокий уровень напряжения, а хотя бы на одном входе K — низкий, то по спаду положительного импульса на входе С триггер устанавливается в единичное состояние независимо от своего предыдущего состояния. Если хотя бы на одном входе J низкий уровень напряжения, а на всех входах K — высокий, то по спаду импульса на входе С триггер устанавливается в нулевое состояние.



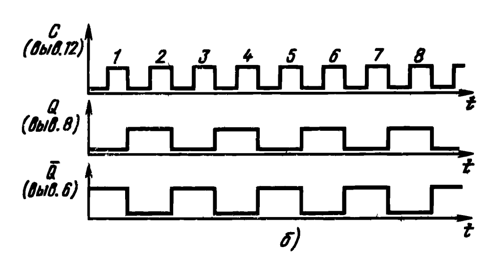


Рис. 34. Опыты с JK-триггером

ТРИГГЕРЫ В КЛЮЧЕВЫХ И СЧЕТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

При конструировании приборов и устройств цифровой техники, например различных по назначению автоматов, коммутаторов электрических цепей, в аппаратуре дистанционного управления моделями радиолюбители очень широко используют D- и JK-триггеры, работающие в режиме счета импульсов. Для этого на счетный вход триггера подают импульсы положительной полярности, переключающие триггер из одного логического состояния в другое, а он, в свою очередь, своими выходными сигналами коммутирует другие электрические цепи.

В принципе управлять таким коммутатором можно с помощью любого механического переключателя, например кнопочного или тумблера, но обязательно через дополнительное устройство, устраняющее так называемый «дребезг» контактов, а также предусматривая другие меры, предотвращающие ложные срабатывания триггеров от различных электрических помех.

Прежде всего — что такое «дребезг» контактов? Так называют паразитный электрический эффект, проявляющий себя в момент соприкосновения поверхностей контактов механического переключателя. Суть этого явления заключается в том, что в этот момент в цепи, в которую контакты включены, возникает серия импульсов длительностью около миллисекунды. Они-то и приводят к ложным срабатываниям триггера и, следовательно, нарушению его работы.

Для устранения дребезга контактов обычно вводят дополнительный RS-триггер, составленный из двух элементов 2И-НЕ. На рис. 35 такой RS-триггер образуют элементы DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ЛА3. В исходном состоянии триггера на его прямом выходе (вывод

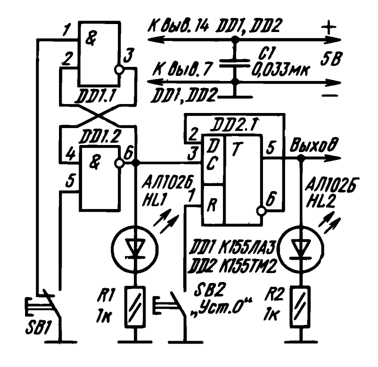


Рис. 35. Ключевое устройство с RS-триггером на входе

3) — напряжение высокого уровня, на инверсном — низкого. Счетный D-триггер DD2.1 в это время сохраняет состояние, в котором он оказался в момент включения источника питания. При нажатии на кнопку SB1 ее подвижный контакт многократно касается другого, неподвижного контакта, вызывая серию импульсов. Первый же импульс серии переключает RS-триггер в нулевое состояние и никакой последующий дребезг контактов уже не изменит его. В этот момент на его инверсном выходе возникает скачок напряжения положительной полярности, под действием которого счетный D-триггер DD2.1 изменяет свое логическое состояние на противоположное. При отпускании кнопки на вход 1 элемента DD1.1 вновь подается низкий уровень напряжения и RS-триггер переключается в исходное состояние. Счетный же D-триггер может вернуться в исходное состояние лишь при повторном нажатии на кнопку SB1.

Светодиоды HL1 и HL2 позволяют визуально наблюдать за состояниями и работой триггеров и делать соответствующие выводы. Кнопка SB2 позволяет устанавливать D-триггер в нулевое состояние, а управляющие сигналы можно снимать с любого из выходов триггера (выводы 5 и 6).

В таком устройстве может, конечно, работать и счетный JK-триггер.

Зачем нужен конденсатор C1, блокирующий цепь питания триггеров? Дело в том, что триггеры, как, впрочем, многие другие микросхемы серии К155, весьма чувствительны к различным электрическим помехам. Если, к примеру, коснуться металлическим предметом монтажного проводника, в цепях устройства появятся импульсные помехи, способные изменить состояние триггеров. Конденсатор же, блокирующий цепь питания, защищает триггеры от подобных помех.

Запомните на будущее: для надежной работы устройств цифровой техники на их платах между проводниками цепи питания необходимо устанавливать по одному блокировочному конденсатору емкостью 0,033...0,047 мкФ на каждые две-три микросхемы, располагая их равномерно среди микросхем.

Источником помехи может стать и неиспользуемый входной вывод микросхемы, так как в нем тоже могут наводиться паразитные электрические импульсы. Такой вход микросхемы целесообразно вообще ни к чему не подключать, оставив его свободным, или на плате подпаять к контактной площадке минимальных размеров, к которой не

подключены какие-либо другие проводники. Неиспользуемые J-входы JK-триггеров можно подключать к их инверсным выходам, а K-входы — к прямым выходам. Можно также неиспользуемые входы подключить к выходному выводу неиспользуемого логического элемента И-НЕ, соединив его входы с общим проводом цепи питания. Кроме того, неиспользуемые входы микросхем можно объединять и подключать их к плюсовому проводнику источника питания через резистор сопротивлением 1...10 кОм.

Совершенно недопустимо подключать к входу микросхемы проводник, который во время работы устройства может оказаться неподключенным к выходу источника управляющего сигнала, например в случае управления устройством с помощью тумблера или кнопочного переключателя. Чтобы предотвратить помехи, такие проводники обязательно надо подключать к плюсовому проводнику цепи питания через резистор сопротивлением 1...10 кОм.

Переходим к описанию нескольких простых конструкций, в которых используются знакомые вам микросхемы.

КРАСНЫЙ ИЛИ ЗЕЛЕНЫЙ?

Так условно можно назвать игровой автомат, схема которого приведена на рис. 36. Его образуют генератор прямоугольных импульсов на логических элементах DD1.1 и DD1.2, включенных инверторами, счетный JK-триггер DD2 и транзисторы VT1 и VT2 с лампами накаливания HL1 и HL2 в коллекторных цепях. Баллон одной из ламп накаливания окрашен в красный цвет, баллон другой — в зеленый.

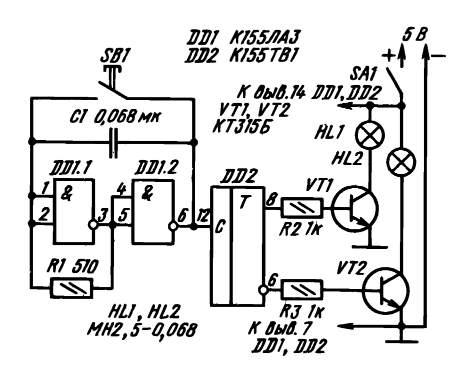


Рис. 36. Схема игрового автомата «Красный или зеленый»

Как работает такой автомат и какова задача играющих? Пока контакты кнопки SB1 не замкнуты, генератор вырабатывает импульсы, частота следования которых определяется в основном конденсатором C1. Его емкость может быть в пределах 1000 пФ... 1 мкФ. Импульсы поступают на вход C JK-триггера DD2, и своими спадами изменяют его состояние на противоположное. Частота изменения уровней напряжения на выходах триггера вдвое меньше частоты генератора.

В промежутки времени, когда на прямом выходе триггера (вывод 8) появляется напряжение высокого уровня, то открывается транзистор VT1 и загорается лампа HL1. Транзистор VT2 в это время закрыт, поскольку на его базе низкий уровень напряжения. При напряжении высокого уровня на инверсном выходе (вывод 6) триггера этот транзистор открывается и загорается лампа HL2 в его коллекторной цепи. Транзистор же VT1 в это время закрывается, и лампа HL1 гаснет. И так при каждом периоде импульсов генератора.

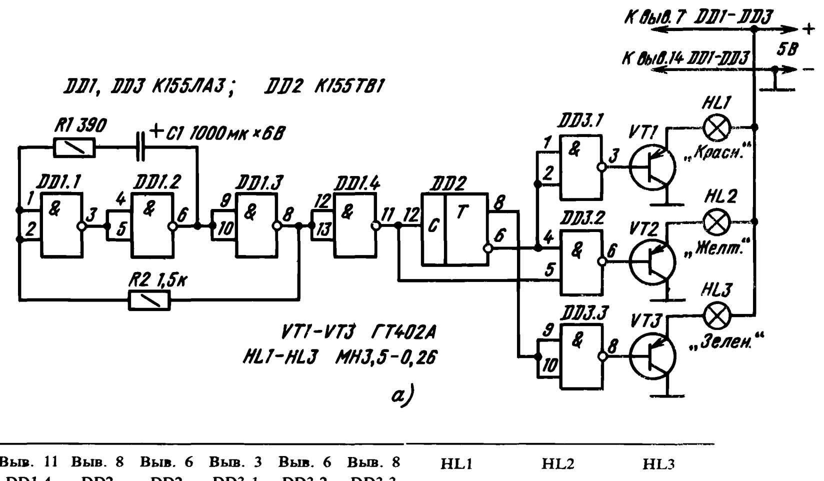
При указанной на схеме емкости конденсатора частота открывания транзисторов не менее 1 кГц. Поэтому нити накала обеих ламп светятся тускло. Но стóит нажать на кнопку SB1 и тем самым замкнуть накоротко конденсатор C1, как генерация импульсов прекратится. При этом одна из ламп накаливания совсем гаснет, а другая, наоборот, светится ярче. А вот какая из них — красная или зеленая — будет гореть после нажатия на кнопку, заранее сказать нельзя, ведь это зависит от логического состояния, в котором окажется триггер в момент срыва генерации. Можно только гадать, что, собственно, и должны делать играющие перед нажатием кнопки генератора.

Победителем считается тот, кто при равном числе нажатий на кнопку, скажем двадцать, большее число раз угадает цвета горящих ламп после остановки генератора.

Можно ли JK-триггер такого игрового автомата заменить счетным D-триггером? Конечно, можно, надо только его вход D соединить с инверсным выходом.

МОДЕЛЬ СВЕТОФОРА

Этот автомат (рис. 37, *а*), который может стать полезным демонстрационным пособием при групповом изучении правил дорожного движения, состоит из генератора импульсов на элементах DD1.1 — DD1.3, счетного JK-триггера DD2, транзисторов VT1 — VT3, работающих в ключевом режиме, и сигнальных ламп накаливания HL1 — HL3. Цвет включенного сигнала светофора опреде-



Выв. 11 DD1.4	Выв. 8 DD2	Выв. 6 DD2	Выв. 3 DD3.1	Выв. 6 DD3.2	Выв. 8 DD3.3	HL1	HL2	HL3
1	1	0	1	1	0	Не горит	Не горит	Горит
0	0	1	0	1	1	Горит	Не горит	Не горит
1	0	1	0	0	1	Горит	Горит	Не горит
0	1	0	1	1	0	Не горит	Не горит	Горит

б)

Рис. 37. Схема модели светофора (а) и таблица состояний (*б*), иллюстрирующая принцип его работы

ляется логическими состояниями промежуточных элементов DD1.4, DD3.1—DD3.3, что можно проследить по таблице, приведенной на рис. 37, *б*.

Предположим, что в момент, с которого мы начинаем анализировать работу автомата, элемент DD1.4 и триггер DD2 находятся в единичном состоянии (верхняя строка таблицы). В это время состояние элемента DD3.3 нулевое, транзистор VT3 открыт и, следовательно, горит лампа HL3 зеленого цвета. Элементы же DD3.1 и DD3.2 находятся в единичном состоянии, транзисторы VT1 и VT2 закрыты и лампы HL1 и HL2 в их коллекторных цепях не горят. По спаду импульса на выходе элемента DD1.4 триггер DD2 переключается в нулевое состояние (вторая строка таблицы). В этот момент на его прямом выходе (вывод 8) появится напряжение низкого уровня (логический 0), а на инверсном (вывод 6) — высокого уровня (логическая 1). При этом элемент DD3.3 оказывается в единичном состоянии, транзистор VT3 закрывается и гаснет лампа HL3, но загорается лампа HL1 красного цвета, так как теперь элемент DD3.1 будет в нулевом состоянии, а транзистор VT1 — в открытом. Лампа HL2 в это время не горит, потому что элемент DD3.2 находится в единичном состоянии.

Фронт очередного импульса на выходе элемента DD1.4 не изменяет логических состояний триггера и элементов микросхемы DD3. По спаду же этого импульса триггер переключается в нулевое состояние, элемент DD3.1 тоже в нулевое, а элементы DD3.2 и DD3.3 в единичное (вторая строка таблицы). При этом лампа HL3 зеленого сигнала гаснет и загорается лампа HL1 красного сигнала. По спаду следующего импульса, поступающего от генератора на вход С триггера через инвертор DD1.4, триггер и элементы DD3.1, DD3.2 оказываются в нулевом состоянии, а элемент DD3.3 сохраняет единичное состояние (третья строка таблицы). Теперь загорается лампа HL2 желтого сигнала и продолжает гореть лампа HL1 красного сигнала. По спаду следующего импульса лампы HL1 и HL2 гаснут и вновь загорается лампа HL3 зеленого цвета. Со следующего за

ним импульса цикл работы модели светофора повторяется.

Источником питания такого автомата могут быть выпрямитель, батарея 3336Л или три-четыре элемента 343, соединенные последовательно; его транзисторы — серии ГТ402 или ГТ403 с любым буквенным индексом. Функцию электронных ключей могут также выполнять маломощные *p-n-p* транзисторы серий МП39—МП42, ГТ308, но тогда сигнальные лампы HL1 — HL3 должны быть на меньший ток накала, например лампы МН2,5-0,06.

АВТОМАТ СВЕТОВЫХ ЭФФЕКТОВ

В популярной радиотехнической литературе описано немало автоматов на микросхемах, позволяющих создавать различные световые эффекты для украшения новогодних елок, иллюминации декоративных масок, аттракционов. Основа таких автоматов — те же триггеры, управляемые, как и в модели светофора, импульсами тактовых генераторов. Переключаясь из одного логического состояния в другое, триггеры выходными сигналами управляют цепями питания нескольких ламп накаливания (или гирлянд), которые и создают задуманные световые эффекты.

Предлагаем для опытной проверки простой автомат, создающий эффект «бегущая тень» (рис. 38, *а*). Он состоит из генератора импульсов на элементах DD1.1 и DD1.2, счетных D-триггеров DD2.1 и DD2.2, логических элементов 2И-НЕ микросхемы DD3 и транзисторов VT1 — VT4 с лампами накаливания HL1 — HL4 в коллекторных цепях. Подстроечным (или переменным) резистором R1 можно плавно изменять частоту тактового генератора в пределах 1...2 Гц.

Триггеры микросхемы К155ТМ2 (DD2), соединенные между собой последовательно, образуют двоичный счетчик импульсов, поступающих на его вход от генератора. В итоге на выходе первого триггера частота импульсов оказывается меньшей вдвое, а на выходе второго — вчетверо. Элементы 2И-НЕ микросхемы

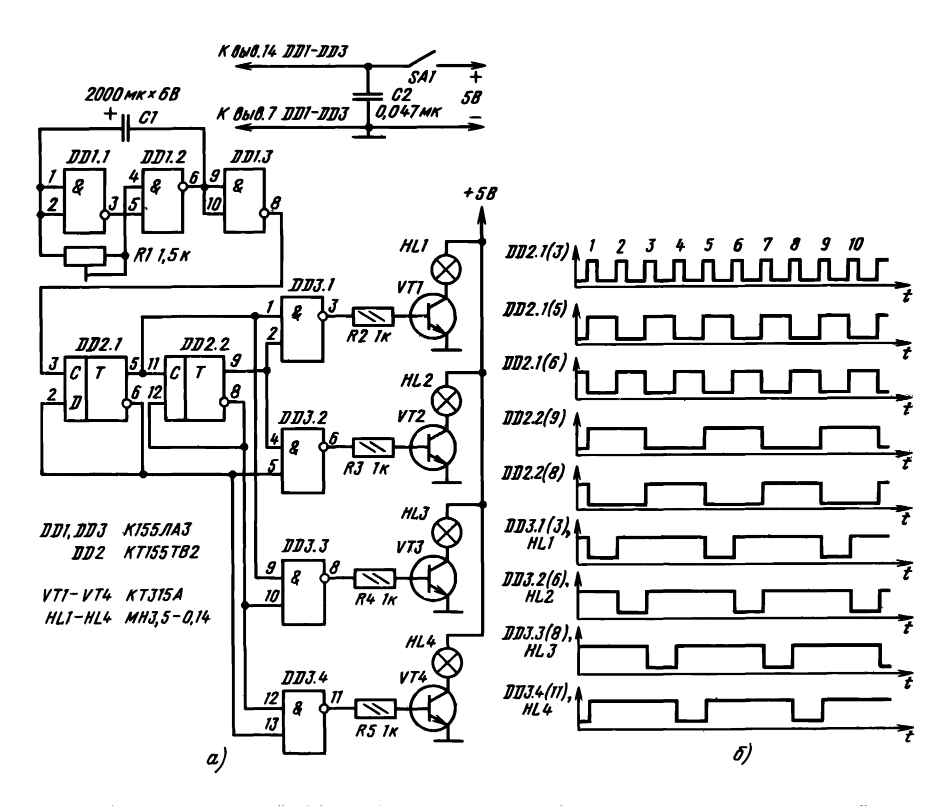


Рис. 38. Автомат, создающий эффект «бегущая тень», и графики, поясняющие принцип его действия

DD3, работающие как дешифраторы логических состояний триггеров счетчика, формируют сигналы, включающие в определенном порядке лампы накаливания. Лампа HL1, например, загорается лишь тогда, когда на выходе элемента DD3.1 (вывод 3) появляется напряжение высокого уровня, которое открывает транзистор VT1. В таком состоянии этот логический элемент может оказаться только при низком уровне напряжения на одном из его входов, т. е. в те промежутки времени, когда один из триггеров находится в нулевом состоянии. Когда же оба триггера находятся в единичном состоянии, на выходе элемента DD3.1 будет напряжение низкого уровня, транзистор VT1 окажется закрытым, а лампа HL1 — погашенной.

Работу автомата в целом проанализируем по графикам, приведенным на рис. 38, *б*. Считаем, что в начальный момент после включения питания D-триггеры счетчика оказались в нулевом состоянии. Следовательно, загорались лампы HL1 — HL3, потому что в это время на выходных выводах 3, 6 и 8 элементов микросхемы DD3 появились напряжения высокого уровня, которые открыли транзисторы VT1 — VT3.

Первый импульс генератора своим фронтом переключил триггер DD2.1 в единичное состояние. Сразу же переключился в аналогичное состояние и триггер DD2.2. Поэтому лампа HL1 погасла (на выводе 3 элемента DD3.1 появился низкий уровень напряжения) и загорелась лампа HL4 (на выводе 11 элемента DD3.4 появился высокий уровень напряжения). Второй импульс переключил триггер DD2.1 в нулевое состояние (триггер DD2.2 остался в единичном). Теперь гаснет лампа HL2, а остальные горят. Третий импульс переключает первый триггер в единичное состояние, а второй — в нулевое. Значит, гаснет лампа HL3, а остальные горят. При четвертом импульсе оба триггера счетчика оказываются в нулевом состоянии и гаснет лампа HL4.

Начиная с пятого (затем с девятого, тринадцатого и т. д.) импульса, появляющегося на входе двоичного счетчика, описанный цикл работы автомата повторяется. И если лампы расположены гирляндой, гаснущие лампы будут создавать эффект «бегущей тени».

С таким автоматом можно получить и эффект «бегущего огня», если между выходами элементов DD3.1 — DD3.4 и соответствующими им ограничительными резисторами R2 — R5 включить инверторами элементы еще одной микросхемы К155ЛА3 (подобно элементу DD1.3). Тогда при каждом цикле работы автомата станет вспыхивать лишь одна лампа и свет будет «бежать» по гирлянде. Скорость перемещения света тем больше, чем выше частота тактового генератора.

Эффект «бегущий огонь» можно получить также при использовании в автомате *р-п-р* транзисторов, например, серии КТ361 или МП42, включив их так же, как в модели светофора (см. рис. 37, *а*).

СЧЕТЧИКИ ИМПУЛЬСОВ

Счетчики импульсов являются неотъемлемыми узлами микропроцессоров, микрокалькуляторов, электронных часов, таймеров, частотомеров и многих других устройств цифровой техники. Основу их составляют триггеры со счетным входом. По логике действия и функциональному назначению счетчики импульсов подразделяют на цифровые счетчики и счетчики-делители. Первые обычно называют просто счетчиками, а вторые — делителями.

Простейшим одноразрядным счетчиком импульсов является JK-триггер или D-триггер, работающий в счетном режиме. Он считает входные импульсы по модулю 2 — каждый импульс переключает триггер в противоположное состояние. Один триггер считает до одного, два последовательно соединенных триггера считают до трех, n триггеров—до $2^n—1$ импульсов. Результат счета формируется в заданном коде, который может храниться в памяти счетчика или быть считанным другим устройством цифровой техники — дешифратором.

На рис. 39, *а* приведена схема трехразрядного двоичного счетчика импульсов. Смонтируйте его на макетной панели и к прямым выходам триггеров подключите светодиодные (или транзисторные — с лампой накаливания) индикаторы, как это делали ранее. Подайте на вход счетчика от испытательного генератора серию импульсов с частотой следования 1...2 Гц и по световым сигналам индикаторов постройте графики работы счетчика.

Если в начальный момент все триггеры счетчика находились в нулевом состоянии (можно установить кнопочным выключателем SB1 «Уст. 0», подавая на R-входы триггеров напряжение низкого уровня), то по спаду первого импульса (рис. 39, *б*) триггер DD1 переключится в единичное состояние — на его прямом



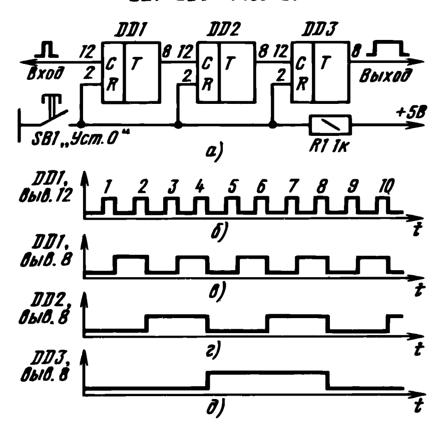


Рис. 39. Трехразрядный двоичный счетчик импульсов

выходе появится высокий уровень напряжения (рис. 39, *в*). Второй импульс переключит триггер DD1 в нулевое состояние, а триггер DD2 — в единичное (рис. 39, *г*). По спаду третьего импульса триггеры DD1 и DD2 окажутся в единичном состоянии, а триггер DD3 все еще будет в нулевом. Четвертый импульс переключит первые два триггера в нулевое состояние, а третий — в единичное (рис. 39, *д*). Восьмой импульс переключит все триггеры в нулевое состояние, начнется следующий цикл работы счетчика импульсов.

Изучая графики, нетрудно заметить, что каждый старший разряд счетчика отличается от младшего удвоенным числом импульсов счета. Так, период импульсов на выходе первого триггера в 2 раза больше периода входных импульсов, на выходе второго триггера — в 4 раза, на выходе третьего триггера — в 8 раз. Говоря языком цифровой техники, такой счетчик работает в весовом коде 1-2-4. Здесь под термином «вес» имеется в виду объем информации, принятой счетчиком после установки его триггеров в единичное состояние. В устройствах и приборах цифровой техники наибольшее распространение получили четырехразрядные счетчики импульсов, работающие в весовом коде 1-2-4-8.

Счетчики-делители, или, как мы уже говорили, просто делители, считают входные импульсы до некоторого задаваемого коэффициентом счета состояния, а затем формируют сигнал сброса триггеров в нулевое состояние, вновь начинают счет входных импульсов до задаваемого коэффициента счета и т. д.

Для примера на рис. 40 показаны схема и графики работы делителя с коэффициентом счета 5, построенного на JK-триггерах. Здесь уже известный вам трехразрядный двоичный счетчик дополнен логическим элементом 2И-НЕ (DD4.1), который и задает коэффициент счета 5. Происходит это так. При первых четырех входных импульсах (после установки триггеров в нулевое состояние кнопкой SB1 «Уст. 0») устройство работает как обычный двоичный счетчик импульсов. При этом на одном или обоих входах элемента действует низкий уровень напряжения, поэтому элемент находится в единичном состоянии. По спаду же пятого импульса на прямых выходах первого и третьего триггеров, а значит, и на входах элемента DD4.1, появляется высокий уровень напряжения, переключающий этот логический элемент в нулевое состояние. В этот момент на выходе элемента формируется короткий импульс отрицательной полярности, который передается на R-вход триггеров и переключает их в исходное нулевое состояние. С этого момента начинается следующий цикл работы счетчика.

Резистор R1 и диод VD1, введенные в такой вариант счетчика, необходимы для того, чтобы исключить замыкание выхода элемента DD4.1 на общий провод источника питания.

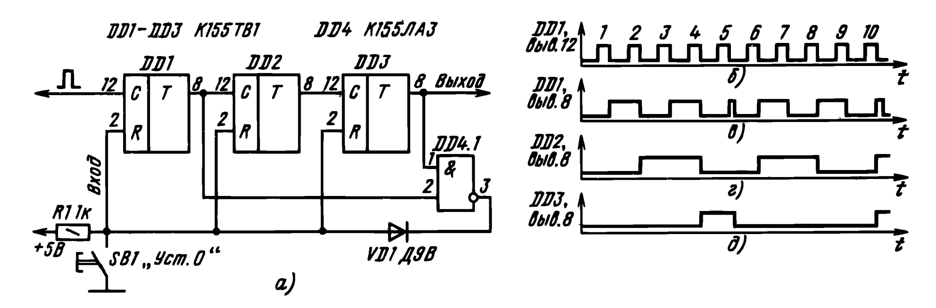


Рис. 40. Схема и графики работы делителя с коэффициентом счета 5

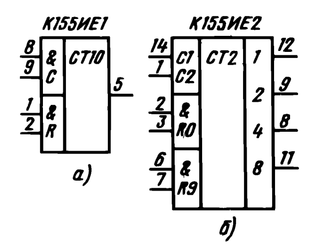


Рис. 41. Условные графические обозначения счетчиков К155ИЕ1 и К155ИЕ2

Действие такого счетчика-делителя можете проверить, подавая на вход С первого его триггера импульсы, следующие с частотой 1...2 Гц и подключив к выводу 8 триггера DD3 световой индикатор.

На практике функции счетчиков и делителей выполняют специально разработанные микросхемы повышенной степени интеграции. В серии К155, например, это счетчики К155ИЕ1, К155ИЕ2, К155ИЕ4 и др. В радиолюбительских разработках наиболее широко используются счетчики К155ИЕ1 и К155ИЕ2. Условные графические изображения этих счетчиков с нумерацией их выводов показаны на рис. 41.

Микросхема К155ИЕ1 (рис. 41, *а*) является декадным счетчиком импульсов, т. е. счетчиком до 10. Счетчик образуют четыре триггера, установку их в нулевое состояние осуществляют подачей напряжения высокого уровня одновременно на оба входа R (выводы 1 и 2), объединенные по схеме элемента И (условный символ «&»). Счетные импульсы, которые должны быть отрицательной полярности, можно подавать на соединенные вместе входы С (выводы 8 и 9), также объединенные по схеме элемента И, или на один из них, если в это время на втором входе будет высокий уровень напряжения. При каждом десятом импульсе на выходе счетчика формируется равный ему по длительности импульс отрицательной полярности, характеризующий объем принятой информации.

Микросхема К155ИЕ2 (рис. 41, *б*) — двоично-десятичный четырехразрядный счетчик. В ней также четыре триггера, но один из них имеет отдельные вход С1 (вывод 14) и прямой выход (вывод 12), а остальные триггеры соединены между собой так, что образуют делитель на 5. При соединении выхода первого триггера со входом С2 (вывод 1) цепочки остальных триггеров микросхема становится делителем на 10, работающим в коде 1-2-4-8, что и символизируют цифры в правой колонке графического изображения микросхемы. Для установки триггеров счетчика в нулевое состояние подают на оба входа R (выводы 6 и 7) сигнал высокого уровня.

Два объединенных R-входа и четыре раздельных выхода микросхемы позволяют без дополнительных логических элементов строить делители частоты с различными коэффициентами деления — от 2 до 10. Так, если соединить между собой выводы 12 и 1, 9 и 2, 8 и 3, то коэффициент счета будет 6, а при соединении выводов 12 и 1, 11, 2 и 3 коэффициент счета станет 8. Эта особенность микросхемы позволяет использовать ее и как двоичный счетчик, и как счетчик-делитель.

БЛОК ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИИ

Этот важнейший узел приборов и устройств с цифровой индикацией результата счета импульсов, электрических измерений целесообразно рассматривать совместно с двоичным счетчиком. Примером может служить устройство, схема которого приведена на рис. 42. Левая часть схемы — генератор, являющийся в данном случае источником импульсов. Далее следуют счетчик К155ИЕ2 (DD2) с коэффициентом пересчета 10 (соединены выводы 1 и 12) и микросхема К155ИД1 (DD3) с газоразрядным индикатором ИН8-2 (HG1), образующие блок цифрового отображения логического состояния счетчика.

Микросхема К155ИД1 представляет собой двоично-десятичный дешифратор, рассчитанный на совместную работу с высоковольтным цифровым газоразрядным индикатором. У него четыре адресных входа, которые подключают непосредственно к выходам счетчика, работающего в весовом коде 1-2-4-8, и десять выходов, которые соединяют с катодами цифрового индикатора. Дешифратор преобразует выходные сигналы счетчика в сигналы кода десятичной системы счисления, которые зажигают соответствующие катоды-цифры индикатора.

Монтаж и опытную проверку деталей и устройства в целом ведите в такой последовательности. Сначала укрепите на макетной плате только газоразрядный индикатор ИН8-2 (или ИН-14, но его цоколевка — иная), предварительно надев на ее проволочные выводы изолирующие трубочки. Рядом разместите диод VD1, выполняющий функцию однополупериодного выпрямителя, питающего анодную цепь индикатора, и резистор R2, ограничивающий ток в этой цепи. Источником переменного напряжения 150...200 В может быть вторичная обмотка сетевого трансформатора блока питания лампово-

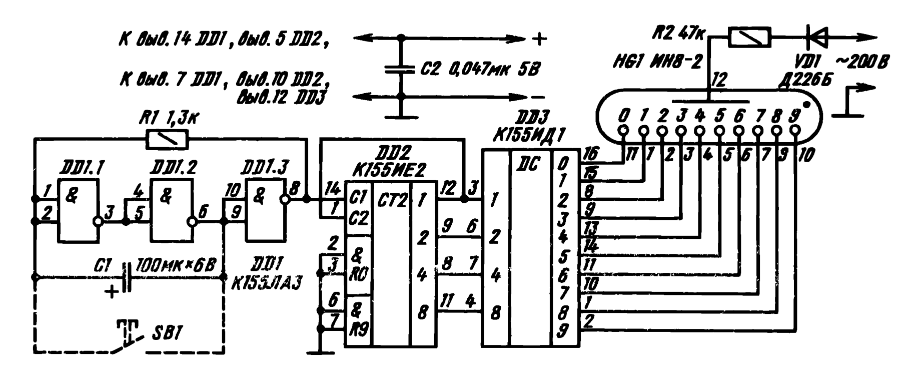


Рис. 42. Блок цифровой индикации импульсов

го радиовещательного приемника. Один из выводов обмотки подключите к аноду диода, а к другому выводу подпаяйте отрезок провода в резиновой или поливинилхлоридной изоляции. Свободный конец провода зачистите от изоляции и, включив трансформатор в электросеть, касайтесь им поочередно выводов 11, 1, 2—10 индикатора. При этом должны индицировать цифры 0, 1, 2—9. При касании вывода 8 вспыхнет неиспользуемый знак запятой. Проверку проводите с особой осторожностью, чтобы не попасть под высокое напряжение.

Затем на макетной панели смонтируйте дешифратор К155ИД1 (DD3) и соедините его выходные выводы с соответствующими выводами индикатора. Получится одноразрядный блок цифровой индикации. Включите источники питания (постоянного и переменного токов) и, соблюдая осторожность, подайте на все четыре, соединенные вместе, входные выводы дешифратора напряжение низкого уровня. В индикаторе должна загореться цифра 0. Далее такой же сигнал подайте поочередно на соединенные между собой выводы 4, 7 и 6; 4, 7 и 3; 4 и 7; 4, 6 и 3; 4 и 6; 4 и 3; 4; 7, 6 и 3; 7 и 6. Неиспользуемые выводы оставляйте свободными, что эквивалентно подаче на них напряжения высокого уровня. В это время должны индицироваться последовательно цифры от 1 до 9.

Так, имитируя код, подаваемый на адресные входы дешифратора, вы испы-

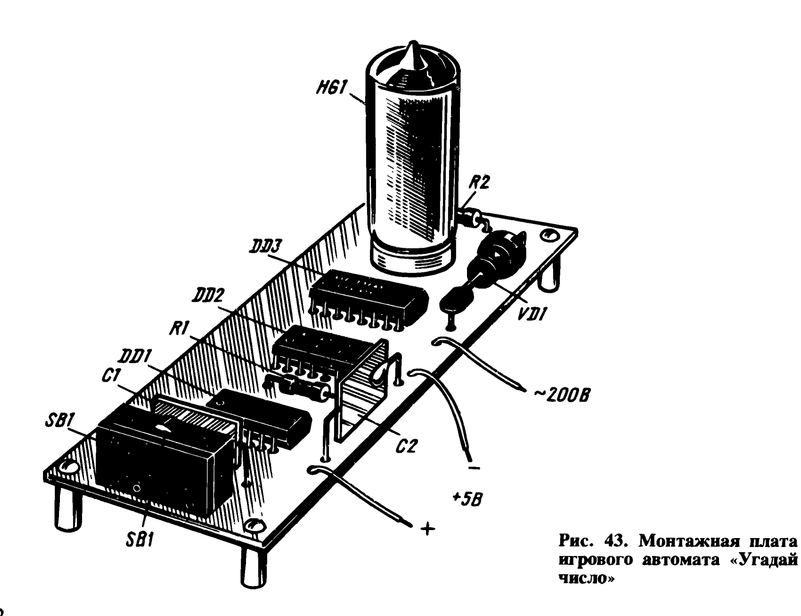


Рис. 43. Монтажная плата игрового автомата «Угадай число»

таете в действии блок цифровой индикации.

Теперь смонтируйте на плате счетчик К155ИЕ2 (DD2), соедините его выходы с соответствующими адресными входами дешифратора и подайте на вход С1 счетчика сигнал от генератора на элементах DD1.1 — DD1.3. Частота следования импульсов может быть 1...3 Гц. Что показывает индикатор? Цифры от 0 до 9, но зажигающиеся поочередно. Так и должно быть: одноразрядный счетчик импульсов считает до 9, переполняется и тут же начинает с 0 пересчитывать следующую серию входных импульсов.

ИГРОВОЙ АВТОМАТ «УГАДАЙ ЧИСЛО»

Получившийся одноразрядный счетчик с блоком индикации и генератором импульсов можно превратить в игровой автомат с условным названием «Угадай число». Для этого достаточно заменить электролитический конденсатор С1 генератора импульсов керамическим или бумажным конденсатором емкостью 0,068...0,1 мкФ и подключить к нему кнопочный выключатель SB1, показанный на рис. 42 штриховыми линиями. Детали игрового автомата можно смонтировать на плате размерами примерно 100×50 мм (рис. 43) из любого изоляционного материала, придерживаясь схемы на рис. 42.

Как работает такой автомат и какова задача играющих?

Пока кнопка выключателя SB1 не нажата, генератор вырабатывает импульсы сравнительно большой частоты и, естественно, цифры индикатора практически не просматриваются. После того как каждый из играющих назовет загаданную цифру от 0 до 9, ведущий игру нажимает кнопку. Колебания генератора срываются, и в индикаторе высвечивается случайная цифра. Выигрывает тот, кто угадает больше цифр, скажем, из 10 попыток.

РЕЛЕ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ

Реле времени, называемые также таймерами, предназначаются для включения и автоматического выключения питания различных электроприборов через заранее установленную выдержку времени. Такие электронные автоматы наиболее широко используются при фотопечати, для включения на определенное время бытовой техники, питающейся от электроосветительной сети, что исключает лишний расход электроэнергии.

Предлагаемое реле времени на знакомых вам цифровых микросхемах питается от сети переменного тока и позволяет устанавливать такие выдержки времени трех поддиапазонов: от 0,05 до 12,5 с через каждые 0,5 с; от 0,5 до 127,5 с через 0,5 с; от 0,5 до 127,5 мин через 0,5 мин. Точность выдержки времени зависит от стабильности частоты тока электроосветительной сети.

Принципиальная схема реле времени показана на рис. 44. Не считая блока питания, его образуют следующие основные узлы: формирователь импульсов, делитель-формирователь образцовых интервалов времени, рабочий счетчик импульсов, дешифратор, управляющее и управляемое устройства. Из восьми микросхем, работающих в нем, пять — счетчики.

Формирователь импульсов представляет собой триггер Шмитта, собранный на элементах DD1.1 и DD1.2. Через конденсатор С1 и резистор R1 на его вход подается импульсное напряжение частотой 100 Гц, снимаемое с выхода двухполупериодного выпрямителя VD4 блока питания реле времени. В результате на выходе триггера Шмитта (вывод 6 элемента DD1.2 формируются прямоугольные импульсы частотой 100 Гц, которые поступают на вход четырехступенного делителя-формирователя образцовых интервалов времени. Микросхема DD2 делит частоту входных импульсов на 10, микросхема DD3 — еще на 10, микросхема DD4 — на 6 и микросхема DD5 — еще на 10. Выбор этих образцовых частот, соответствующих образцовым интервалам времени 0,1 с, 1 с и 1 мин, осуществляется переключателем SA1 «Множитель».

Рабочий счетчик импульсов, поступающих от делителя-формирователя образцовых интервалов времени, образуют счетчики DD6 и DD7, соединенные между собой последовательно. С выходов этих микросхем импульсы через тумблеры SA2 — SA9 «Выдержка» поступают на входы микросхемы DD8, представляющей собой восьмивходовый логический элемент 8И-НЕ. В описываемом приборе он выполняет функцию дешифратора — уровень низкого напряжения на его выходе, служащий сигналом окончания выдержки времени, появляется лишь тогда, когда на всех его входах будут напряжения высокого уровня.

Необходимую длительность выдер-

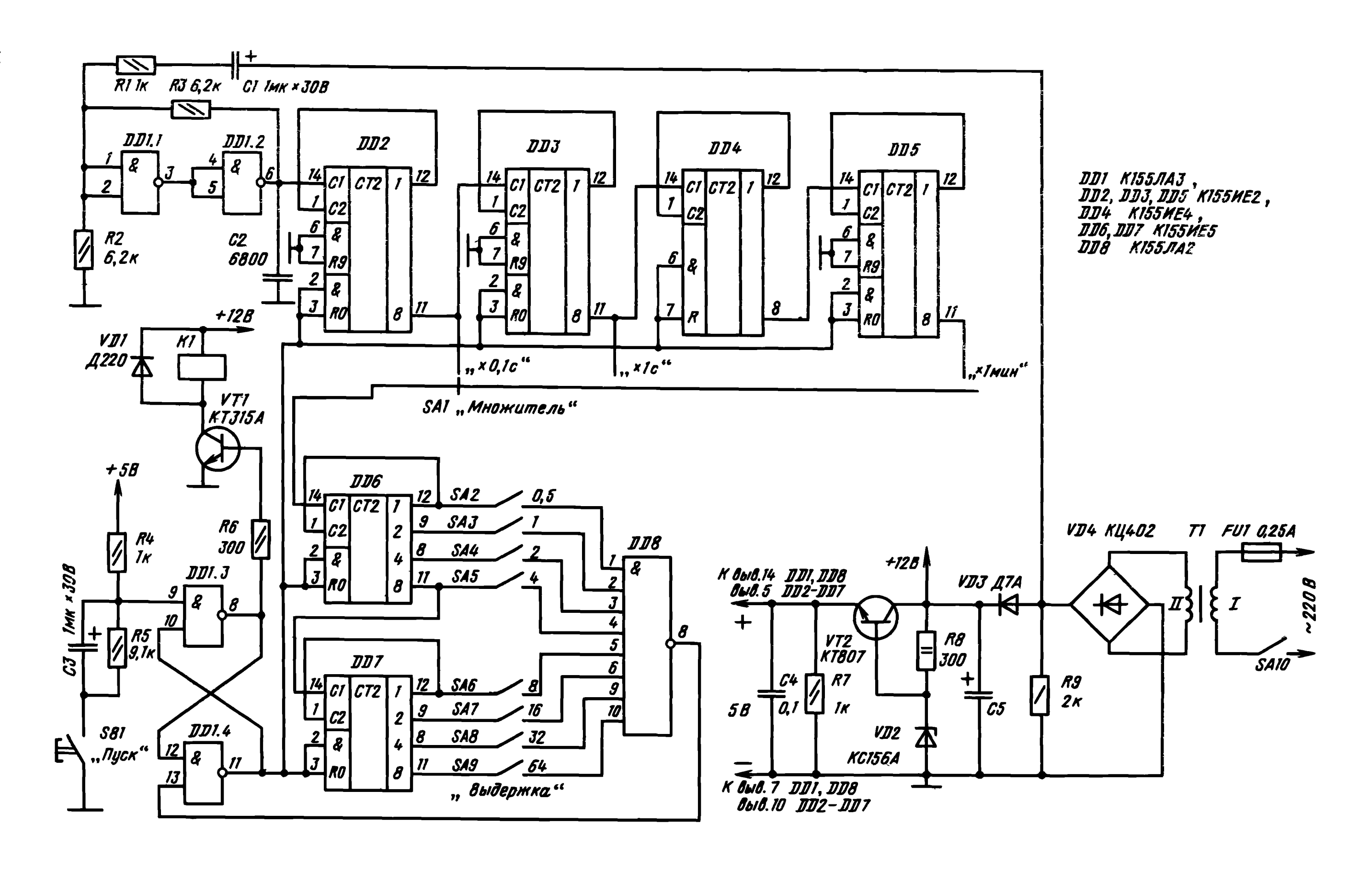


Рис. 44. Принципиальная схема реле выдержки времени

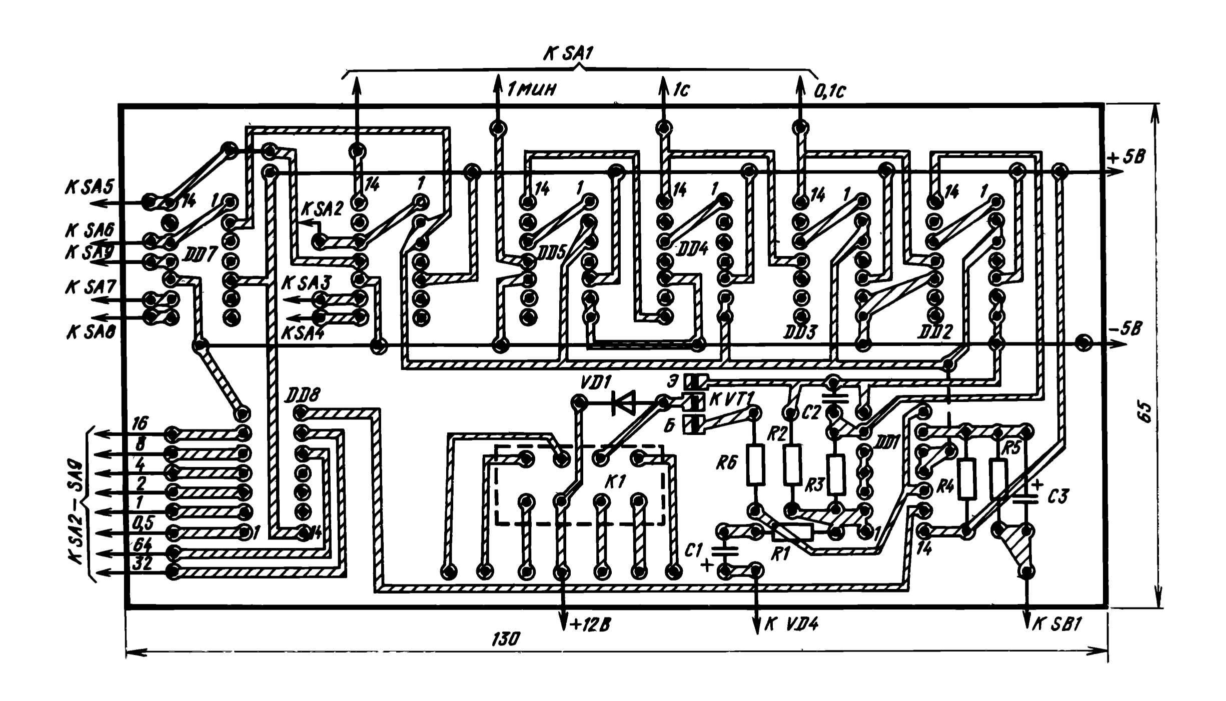


Рис. 45. Монтажная плата реле времени

жек устанавливают переключателем SA1 и тумблерами (или кнопочными выключателями с фиксацией) SA2—SA7. Так, например, чтобы длительность выдержки была 1,6 с, переключатель SA1 надо установить в положение «×0,1 с» и замкнуть контакты тумблера SA7 (0,1×16=1,6 с). Как только на вход 6 дешифратора поступит с выходного вывода 9 счетчика DD7 импульс положительной полярности (в это время все другие входные выводы микросхемы DD8 свободны, что равнозначно подаче на них напряжения высокого уровня), на выходном выводе 8 дешифратора DD8 появится напряжение низкого уровня, которое через управляющее устройство остановит работу реле времени.

Функцию устройства управления выполняет RS-триггер, собранный на элементах DD1.3 и DD1.4. При нажатии на кнопку SB1 «Пуск» триггер устанавливается в единичное состояние — на его прямом выходе появляется напряжение высокого уровня, которое через резистор R6 открывает транзистор VT1, входящий в исполнительное устройство. В результате срабатывает электромагнитное реле K1, которое своими контактами (на схеме не показаны) включает электроприбор. Одновременно напряжение низкого уровня инверсного выхода триггера воздействует на R-входы всех счетчиков и устанавливает их в исходное рабочее состояние. С этого момента начинается отсчет длительности выдержки времени. Если, к примеру, замкнуты контакты тумблера SA7, а переключатель SA1 установлен в положение «×1 с», то через 16 с на выводе 8 микросхемы DD8 появится напряжение низкого уровня, которое переключит RS-триггер в нулевое состояние, отчего транзистор VT1 закроется, электромагнитное реле K1 отпустит и своими контактами отключит нагрузку реле времени от электросети.

Вообще же тумблеры SA2—SA9 «Множителя» позволяют значительно расширить диапазон выдержек времени от 0,05 с до 127,5 мин. Например, при установке переключателя SA1 в положение «×1 с» и одновременном замыкании контактов тумблеров SA3, SA4 и SA5 длительность выдержки будет 7 с, а при установке переключателя SA1 в положение «1 мин» и замыкании контактов всех тумблеров SA2—SA9 выдержка составит 127,5 мин. Но, как показывает практика пользования подобным прибором, обычно одного из восьми тумблеров бывает достаточно для выбора необходимой выдержки времени.

Формирователь импульсов с делителем-формирователем образцовых интервалов времени, рабочий счетчик с дешифратором, триггер управления и транзистор VT1 с электромагнитным реле K1 можно смонтировать на одной общей плате (рис. 45), а блок питания — на другой плате, что позволит наиболее рационально разместить их в подходящем готовом или самодельном корпусе. Примером монтажа и данных сетевого трансформатора выпрямителя может служить блок питания описываемого ниже цифрового частотомера. Вообще же прибор можно питать от ранее сконструированного блока питания (см. рис. 20). Надо только между его выпрямительным мостом VD1—VD4 и фильтрующим конденсатором C1 включить диод серии Д226 (как на рис. 44) с любым буквенным индексом.

Все тумблеры и переключатель SA1 «Множитель» размещайте на лицевой стенке корпуса реле времени и сделайте возле них соответствующие надписи функционального назначения.

Электромагнитное реле K1 типа РЭС-47 (паспорт РФ4.500.409 или РФ4.500.419) либо другое аналогичное, надежно срабатывающее от источника постоянного тока напряжением 10...12 В.

Монтаж деталей на плате может быть как печатным, так и проволочным — все зависит от имеющихся материалов и опыта монтажных работ. Проводники цепей питания микросхем целесообразно разместить на плате со стороны размещения (установки) микросхем (на рис. 45 обозначены непрерывными линиями, пересекающими печатные проводники), что при печатном монтаже уменьшит число неизбежных перемычек, а при проволочном — избавит от случайных соединений монтажных проводников в местах пересечения.

Если детали предварительно проверены и монтаж выполнен точно по принципиальной схеме, реле времени настройки не требует. Проверить же работоспособность отдельных узлов можно с помощью знакомых вам светодиодного или транзисторного пробника и вольтметра постоянного тока.

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР

Конструирование этого измерительного прибора (рис. 46) должно стать для вас обобщением, сведением воедино и практическим применением знаний и навыков по основам цифровой техники. Прибор позволит измерять синусоидаль-

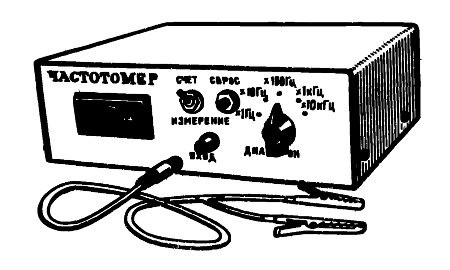


Рис. 46. Внешний вид цифрового частотомера

Вход
Формирователь импульсного напряжения
Электронный ключ
Счетчик импульсов
Блок образцовых частот
Устройство управления
Блок цифровой индикации

Рис. 47. Структурная схема частотомера

ные гармонические и импульсные электрические колебания частотой от единиц герц до 10 МГц и амплитудой от 0,15 до 10 В, а также считать импульсы сигнала.

Структурная схема описываемого частотомера показана на рис. 47. Его образуют: формирователь импульсов сигнала измеряемой частоты, блок образцовых частот, электронный ключ, двоично-десятичный счетчик импульсов, блок цифровой индикации и управляющее устройство. Питается частотомер от сети переменного тока напряжением 220 В через двухполупериодный выпрямитель со стабилизатором выпрямленного напряжения (на рис. 47 не показаны).

Действие прибора основано на измерении числа импульсов в течение определенного — образцового — интервала времени. Исследуемый сигнал подают на вход формирователя импульсного напряжения. На его выходе формируются электрические колебания прямоугольной формы, соответствующие частоте входного сигнала, которые поступают на электронный ключ. Сюда же через управляющее устройство, открывающее ключ на определенное время, поступают и импульсы образцовой частоты. В результате на выходе электронного ключа появляются пачки импульсов, которые далее следуют к двоично-десятичному счетчику. Логическое состояние двоично-десятичного счетчика, в котором он оказался после закрывания ключа, отображает блок цифровой индикации, работающий в течение времени, определяемого управляющим устройством.

В режиме счета импульсов управляющее устройство блокирует источник образцовых частот, двоично-десятичный счетчик ведет непрерывный счет поступивших на его вход импульсов, а блок цифровой индикации отображает результат счета.

Принципиальная схема частотомера показана на рис. 48. Многие узлы в нем вам уже знакомы. Поэтому рассмотрим более подробно лишь новые цепи и узлы прибора.

Формирователь импульсного напряжения представляет собой усложненный триггер Шмитта, собранный на микросхеме К155ЛД1 (DD1). Резистор R1 ограничивает входной ток, а диод VD1 защищает микросхему от перепадов входного напряжения отрицательной полярности. Подбором резистора R3 устанавливают нижний (наименьший) предел напряжения входного сигнала.

С выхода формирователя (вывод 9 микросхемы DD1) импульсы прямоугольной формы поступают на один из входов логического элемента DD11.1, выполняющего функцию электронного ключа.

В блок образцовых частот входят: генератор на элементах DD2.1 — DD2.3, частота импульсов которого стабилизирована кварцевым резонатором ZQ1, и семиступенный делитель частоты на микросхемах DD3 — DD9. Частота кварцевого резонатора равна 8 МГц, поэтому микросхема К155ИЕ5 (DD3) первой ступени делителя включена так, чтобы частота генератора делилась на 8. В результате частота импульсов на ее выходе (вывод 11) будет 1 МГц. Микросхема каждой последующей ступени делит частоту на 10. Таким образом, частота импульсов на выходе микросхемы DD4 равна 100 кГц, на выходе микросхемы DD5 — 10 кГц, на выходе DD6 — 1 кГц, на выходе DD7 — 100 Гц, на выходе DD8 — 10 Гц и на выходе всего делителя (вывод 5 микросхемы DD9) — 1 Гц.

Участок измеряемых частот устанавливают переключателем SA1 «Диапазон». В крайнем правом (по схеме) положении этого переключателя трехразрядный блок цифровой индикации фиксирует частоту до 1 кГц (999 Гц), во втором от него положении — до 10 кГц (9999 Гц), в третьем — до 100 кГц (99 999 Гц) и далее до 1 МГц (999 кГц), до 10 МГц (9,999 МГц). Для более точного определения частоты сигнала приходится выбирать переключателем соответствующий поддиапазон измерения, постепенно переходят от более высокочастотного участка к низкочастотному. Так, например, чтобы измерить частоту звукового генератора, надо установить переключатель

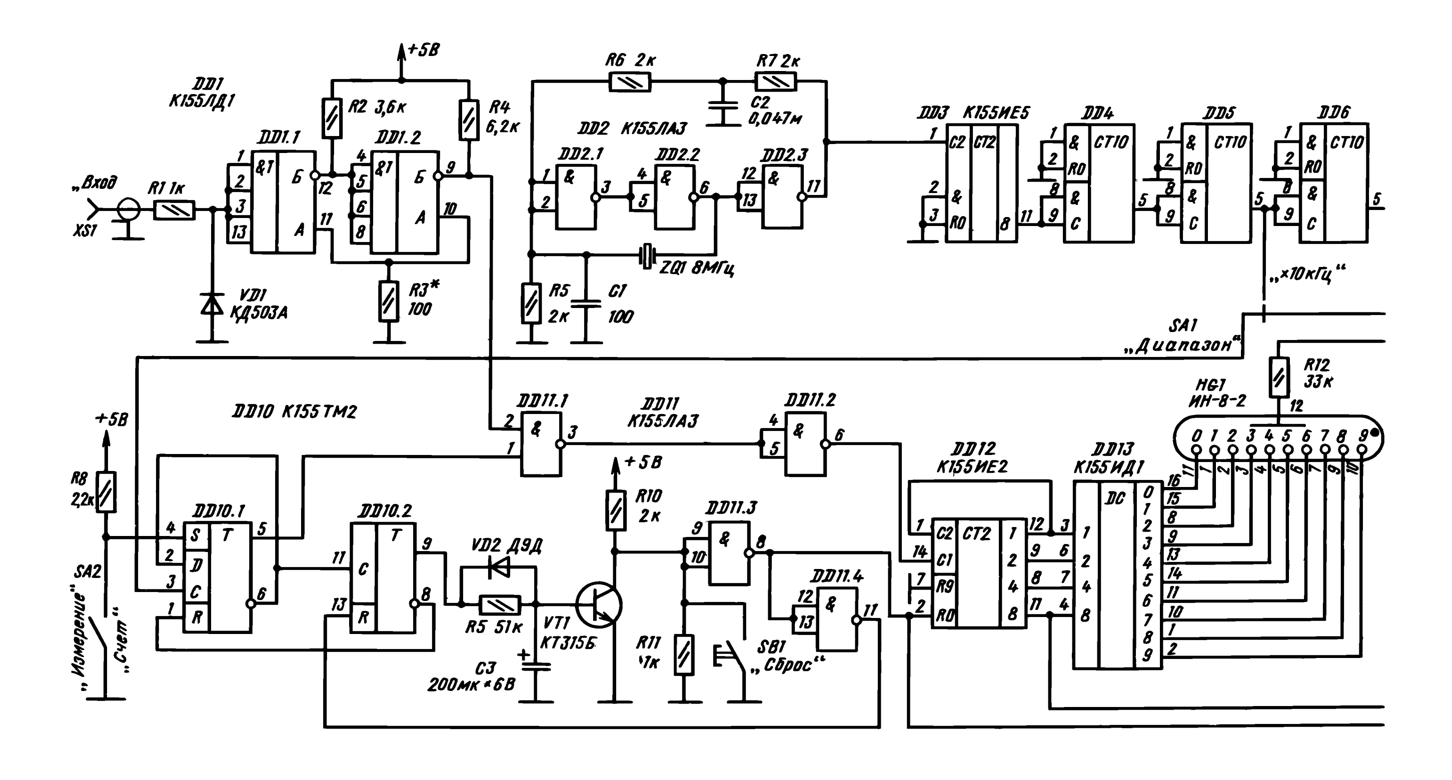


Рис. 48 (левая часть)

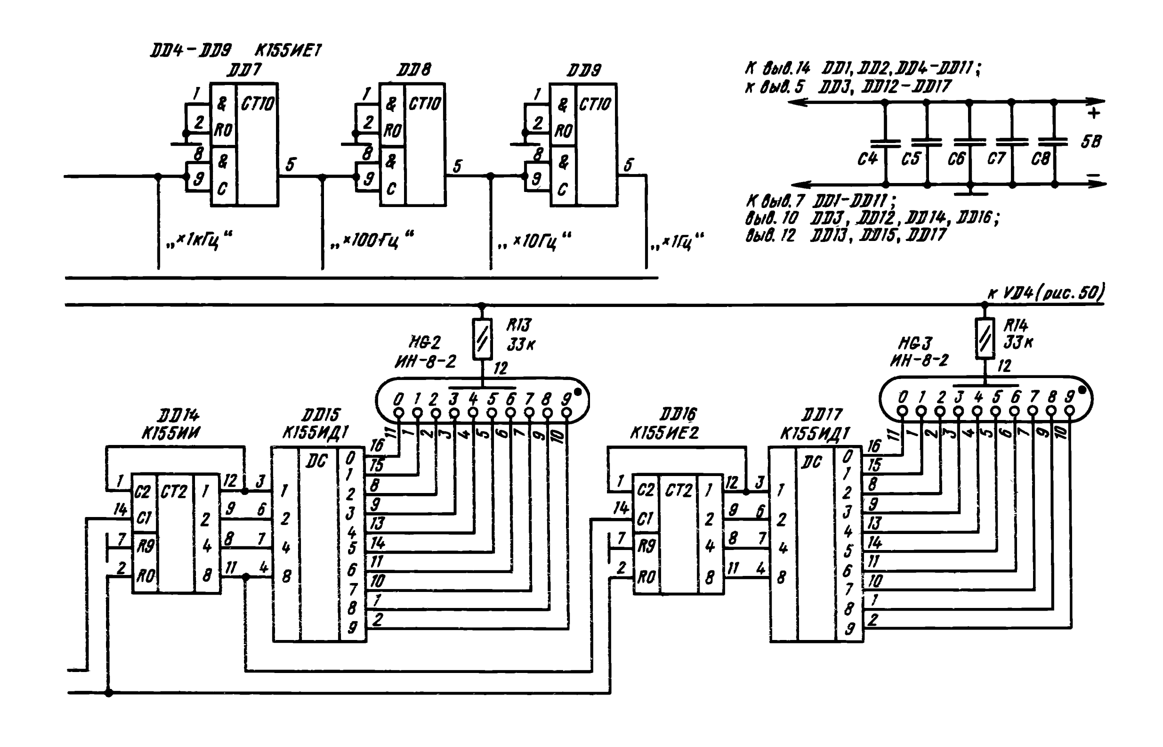


Рис. 48 (правая часть). **Принципиальная схема частотомера**

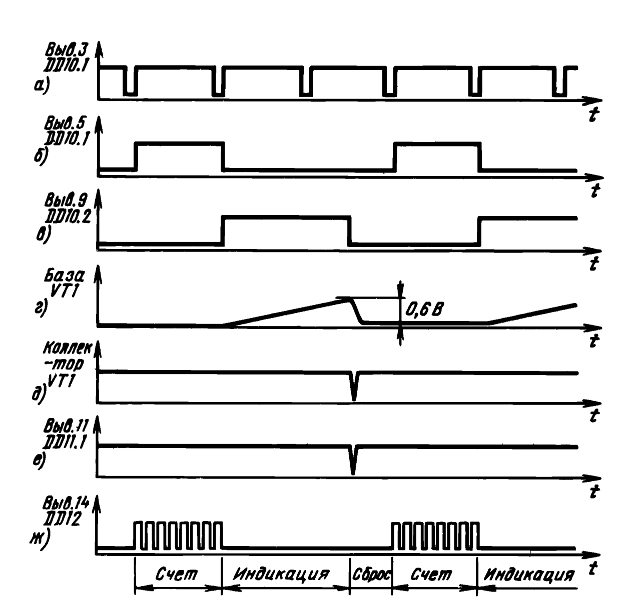


Рис. 49. Графики, иллюстрирующие работу управляющего устройства цифрового частотомера

сначала в положение «×10 кГц», а затем переводить его в сторону меньших образцовых частот.

Управляющее устройство, работу которого иллюстрируют графики, приведенные на рис. 49, состоит из D-триггеров DD10.1 и DD10.2, микросхемы DD10, инверторов DD11.3, DD11.4 и транзистора VT1, образующих усложненный ждущий мультивибратор. На вход С D-триггера DD10.1 поступают импульсы с блока образцовых частот (рис. 49, *а*). По фронту импульса образцовой частоты, установленной переключателем SA1, этот триггер, работающий в режиме счета на 2, переключается в единичное состояние (рис. 49, *б*) и напряжением высокого уровня на прямом выходе (вывод 5) открывает электронный ключ DD11.1. С этого момента импульсы напряжения измеряемой частоты проходят через электронный ключ, инвертор DD11.2 и поступают непосредственно на вход С1 (вывод 14) счетчика DD12. По фронту следующего импульса триггер DD10.1 принимает исходное состояние и переключает в единичное состояние триггер DD10.2 (рис. 49, *в*). В свою очередь триггер DD10.2 низким уровнем напряжения на инверсном выходе (вывод 8) блокирует вход управляющего устройства от воздействия импульсов образцовой частоты, а высоким уровнем напряжения на прямом выходе (вывод 9) запускает ждущий мультивибратор. Электронный ключ закрывается напряжением низкого уровня на прямом выходе триггера DD10.1. Начинается индикация числа импульсов в пачке, поступивших на вход двоично-десятичного счетчика.

С появлением напряжения высокого уровня на прямом выходе триггера DD10.2 через резистор R5 начинает заряжаться конденсатор С3. По мере его зарядки увеличивается положительное напряжение на базе транзистора VT1 (рис. 49, *г*). Как только оно достигнет примерно 0,6 В, транзистор открывается, напряжение на коллекторе уменьшается почти до 0 (рис. 49, *д*). Появляющееся при этом на выходе элемента DD11.3 напряжение высокого уровня воздействует на входы R0 микросхем DD12, DD14 и DD16, в результате чего двоично-десятичный счетчик импульсов сбрасывается в нулевое состояние, отчего результат измерения прекращается. Одновременно напряжение низкого уровня, появившееся коротким импульсом на выводе 11 инвертора DD11.4 (рис. 49, *е*), переключает триггер DD10.2 и ждущий мультивибратор в исходное состояние и конденсатор С3 разряжается через диод VD2 и элемент DD10.2. С появлением на входе триггера DD10.1 очередного импульса образцовой частоты начинается следующий цикл работы прибора в режиме измерения (рис. 49, *ж*).

Счетчик DD12, дешифратор DD13 и газоразрядный цифровой индикатор HG1 образуют младшую счетную ступень частотомера. Последующие счетные ступени называют старшими. В законченной конструкции частотомера индикатор HG1 — крайний справа, влево от него следуют индикаторы HG2 и HG3. Пер-

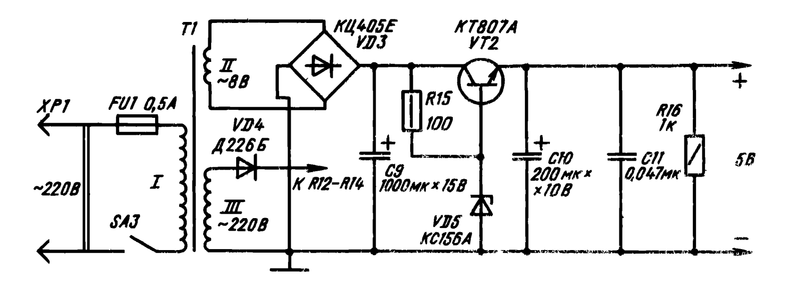


Рис. 50. Схема блока питания

вый из них высвечивает единицы, второй — десятки, третий — сотни частот данного поддиапазона измерения, выбранного переключателем SA1.

Чтобы частотомер перевести в режим непрерывного счета импульсов, переключатель SA2 устанавливают в положение «Счет». В этом случае триггер DD10.1 по входу S переключается в единичное состояние — на его прямом выходе действует напряжение высокого уровня. При этом электронный ключ DD11.1 оказывается открытым и через него на вход двоично-десятичного счетчика непрерывно поступают импульсы входного сигнала. Показания счетчика в этом случае прекращаются при нажатии на кнопку SB1 «Сброс».

Блок питания частотомера (рис. 50) образуют сетевой трансформатор T1, двухполупериодный выпрямитель VD3, конденсатор C9, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения, и стабилизатор напряжения на стабилитроне VD5 и транзисторе VT2. Конденсатор C10 на выходе стабилизатора дополнительно сглаживает пульсации выпрямленного напряжения. Конденсатор C11 (как и конденсаторы C4—C8 прибора) блокирует микросхемы частотомера по цепи питания, резистор R16 поддерживает режим стабилизатора при отключенной от него нагрузке.

Напряжение обмотки III трансформатора (около 200...220 В) подается через диод DV4 в цепи питания анодных цепей

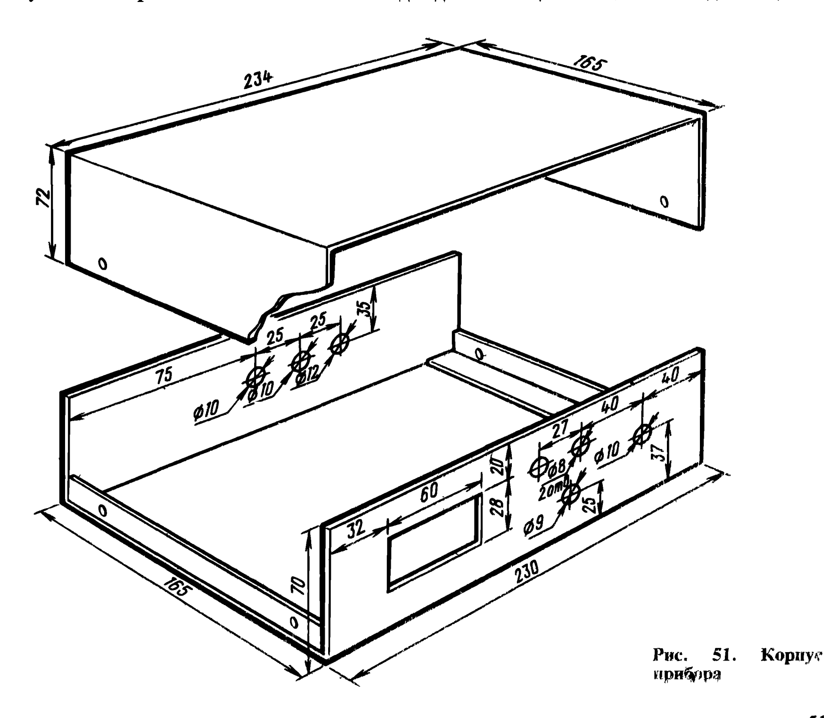


Рис. 51. Корпус прибора

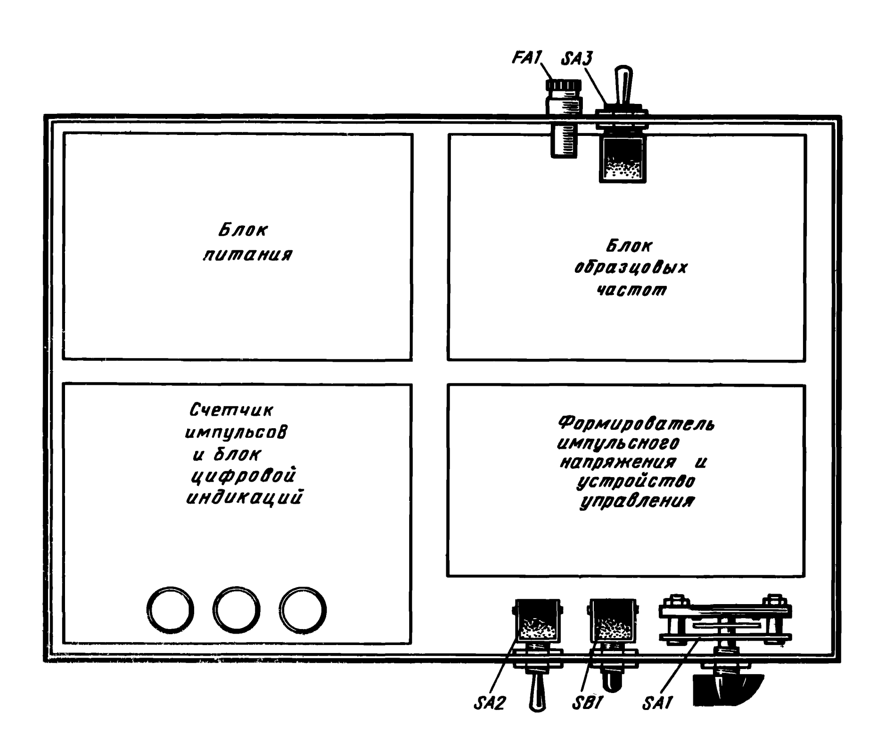


Рис. 52. Размещение блоков и деталей цифрового частотомера в корпусе

газоразрядных цифровых индикаторов частотомера.

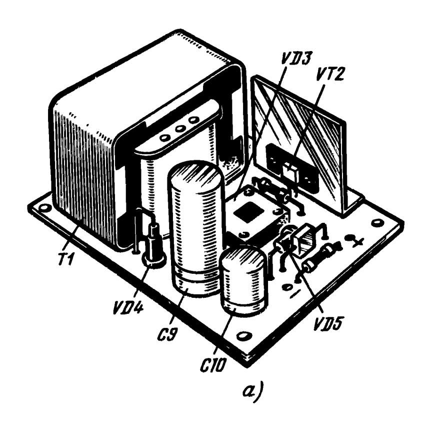
Конструкция. С внешним видом частотомера вы уже знакомы. Его корпус (рис. 51) состоит из двух П-образных частей, согнутых из мягкого листового дюралюминия толщиной 2 мм. Нижняя часть выполняет функцию сборочного шасси. В ее передней стенке, являющейся лицевой панелью прибора, выпилено прямоугольное отверстие, прикрываемое спереди пластинкой красного органического стекла, через которое видны газоразрядные индикаторы. Справа от него — отверстия для крепления входного высокочастотного разъема XS1, переключателя SA1 на пять положений, тумблера SA2 «Измерение-счет» и кнопки SB1 «Сброс». Три отверстия на задней стенке служат для выключателя питания SA3, арматуры плавкого предохранителя FU1 и ввода сетевого шнура. Верхнюю часть — крышку — привертывают винтами М3 к дюралюминиевым уголкам, приклепанным к шасси вдоль боковых сторон. Снизу к шасси прикреплены резиновые ножки.

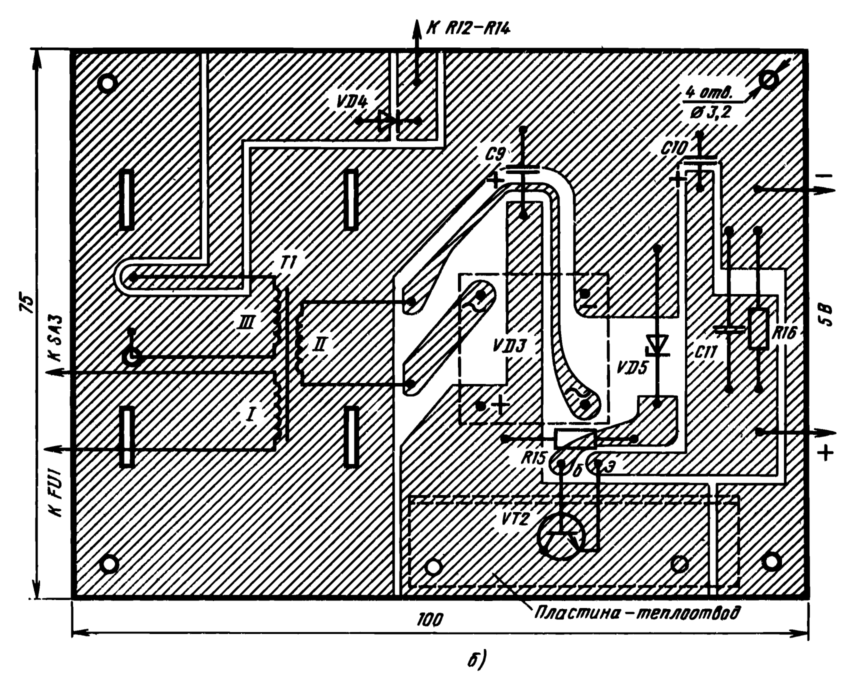
Монтаж. Детали частотомера смонтированы на четырех печатных платах из фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм, представляющих собой функционально законченные блоки прибора. Размещение плат и других деталей частотомера в корпусе показано на рис. 52. Платы винтами с гайками укреплены на пластине листового пластика, а она — на дне шасси. Соединения между платами и другими деталями прибора выполнены гибкими проводниками в надежной изоляции.

Первым монтируйте и испытывайте блок питания. Его внешний вид и печатная плата со схемой размещения деталей показаны на рис. 53. Сетевой трансформатор T1 самодельный, выполнен на магнитопроводе ШЛ20×32. Обмотка I, рассчитанная на напряжение сети 220 В, содержит 1650 витков провода ПЭВ-1 0,1, анодная обмотка III — 1500 витков такого же провода, обмотка II — 55 витков провода ПЭВ-1 0,47. Вообще же для блока питания можно использовать подходящий готовый трансформатор мощностью более 7...8 Вт, обеспечивающий на обмотке II переменное напряжение 8...10 В при токе нагрузки не менее 0,5 А, на обмотке III — около 200 В при токе не менее 10 мА.

Регулирующий транзистор VT2 стабилизатора напряжения укреплен на Г-образной дюралюминиевой пластинке

Рис. 53. Блок питания





размером 50×50 и толщиной 2 мм, выполняющей функцию теплоотвода. Выводы базы и эмиттера транзистора пропущены через отверстия в плате и припаяны непосредственно к соответствующим печатным проводникам. Электрический контакт коллектора транзистора с выпрямительным блоком VD3 осуществлен через его теплоотвод, крепежные винты с гайками и фольгу платы.

Сверив монтаж со схемой блока (см рис. 50), подключите к выходу стабилизатора напряжения эквивалент нагрузки — резистор сопротивлением 10...12 Ом на мощность рассеяния 5 Вт. Подключите блок к сети и тут же измерьте напряжение на резисторе — оно должно быть в пределах 4,75...5,25 В. Более точно это напряжение можно установить подбором стабилитрона VD5. Оставьте блок включенным на 1,5...2 ч. За это время регулирующий транзистор может нагреться до 60...70° С, но напряжение на нагрузке должно оставаться практически неизменным. Так вы испытаете блок питания при работе в условиях, близких к реальным.

Счетчик импульсов и блок цифровой

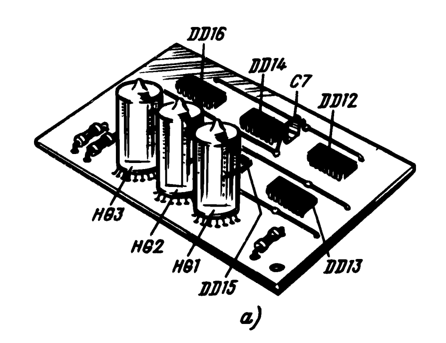
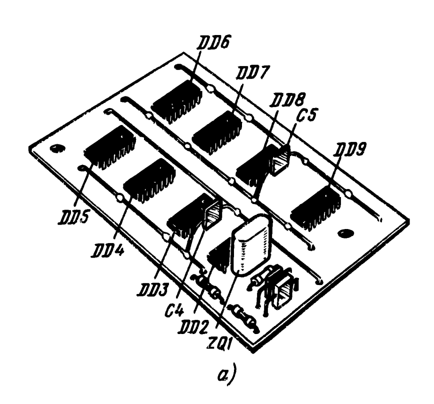


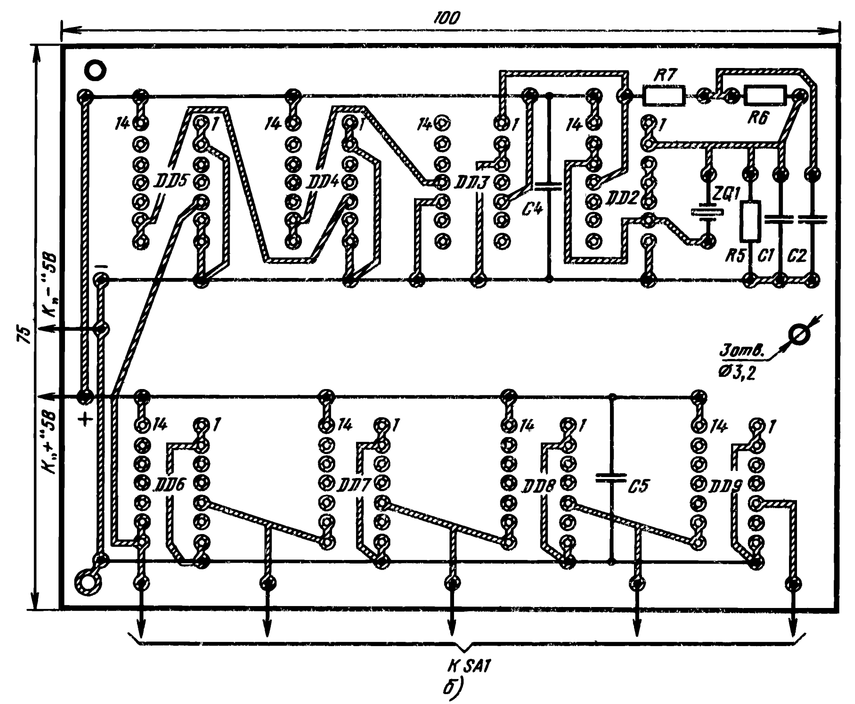
Рис. 54. Плата счетчика импульсов с блоком цифровой информации

индикации смонтированы на одной общей плате размером 100×80 мм (рис. 54). Шины цепи питания размещены на плате со стороны микросхем, что позволило обойтись лишь двумя проволочными перемычками в местах пересечения цепей счетчиков DD12, DD14, DD16. К этим же шинам припаяны блокировочные конденсаторы C7 и C8. Выводы газоразрядных индикаторов пропущены через отверстия в плате и припаяны к токонесущим площадкам, которые затем соединены отрезками монтажного провода с соответствующими им выходами дешифраторов DD13, DD15 и DD17 (чтобы не усложнять эскиза платы, эти соединения на рис. 54 не показаны).

Тщательно проверив монтаж и надежность паек, соедините плату с блоком питания и, соблюдая осторожность, подключите блок к сети. Индикаторы должны высвечивать нули. Если теперь общий проводник R0-входов счетчиков, который должен соединяться с выводом 8 элемента DD11.3 устройства управления, замкнуть временно на «заземленный» проводник и на вход C1 (вывод 14) счетчика DD12 подать от испытательного генератора импульсы, следующие с частотой повторения 1...3 Гц, этот узел частотоме-

Рис. 55. Блок образцовых частот





ра будет работать в режиме счета импульсов: индикатор HG1 станет высвечивать единицы, HG2—десятки, а HG3—сотни импульсов. После 999 импульсов на индикаторах высветятся нули и начнется счет следующего цикла импульсов.

В случае неполадок в этом узле проверяйте и испытывайте каждый разряд блока индикации раздельно с помощью индикаторов или, что лучше, электронного осциллографа.

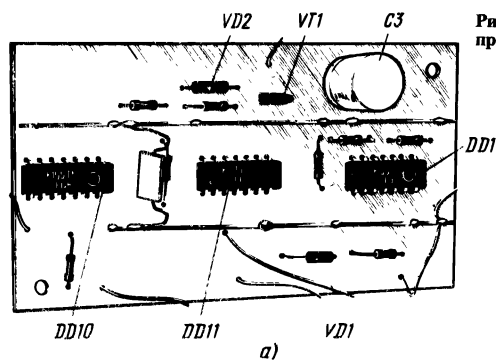
Далее монтируйте и испытывайте блок образцовых частот (рис. 55). В нем, как и в блоке цифровой индикации, шины питания и блокировочные конденсаторы размещены на плате со стороны микросхем.

После проверки монтажа подайте на шины питания этого блока напряжение 5 В и, пользуясь светодиодным или транзисторным индикатором, проверьте его работоспособность. При подключении индикатора к выходу микросхемы DD9 он должен мигать с частотой 1 Гц, к выходу микросхемы DD8—с частотой 10 Гц, а к выходу DD7—с частотой 100 Гц (на глаз незаметно). Затем сигна-

лы с выходов этих микросхем подайте поочередно на вход C1 счетчика DD12 блока цифровой индикации. Работая в режиме счета, он будет индицировать число импульсов, поступающих на него с выходов трех ступеней делителя. Если все будет так, можно считать, что и генератор блока образцовых частот работает исправно.

Формирователь импульсного напряжения, электронный ключ и устройство управления смонтированы на одной общей плате (рис. 56). Испытание этого узла частотомера начинайте с проверки работоспособности формирователя импульсов сигнала измеряемой частоты совместно с другими узлами и элементами прибора. Для этого вход S (вывод 4) триггера DD10.1 временно соедините с «заземленным» проводником (что равнозначно установке переключателя SA2 в положение «Счет»), вывод 6 инвертора DD11.2 — с выводом 14 входа C1 счетчика DD12 и подайте на разъем XS1 сигнал с выхода микросхемы DD9 блока образцовых частот. Индикаторы должны высвечивать последовательно цифры от 1 до 999. При частоте импульсов 10 Гц, снимаемых с выхода микросхемы DD8, скорость счета импульсов возрастает в 10 раз.

Затем проводник, соединяющий вход S триггера DD10.1 с «заземленной» шиной питания, удалите (что соответствует установке переключателя SA2 в положение «Измерение»), вывод 8 инвертора DD11.3 соедините с шиной сброса счетчиков DD12, DD14, DD16 (предварительно удалив перемычку, которой эту шину ранее замыкали на «заземленный» про-



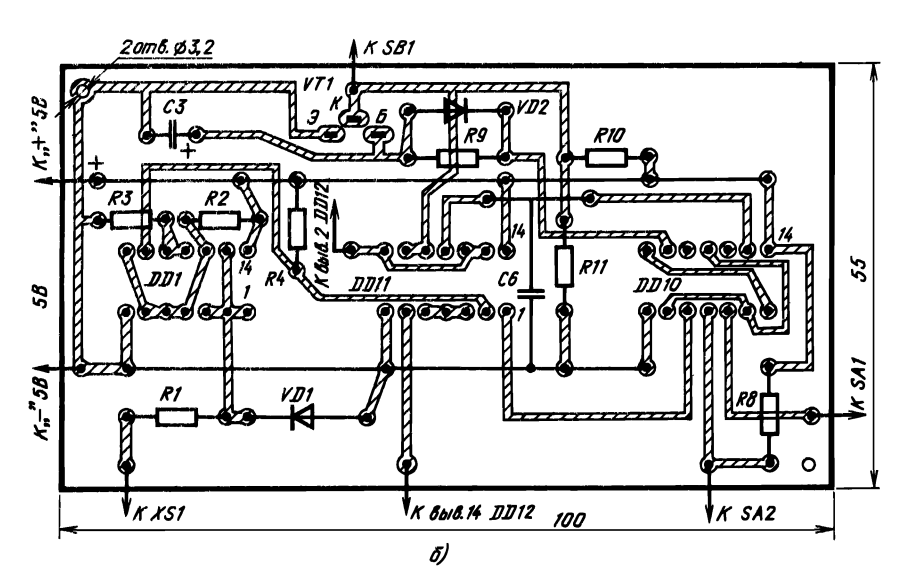


Рис. 56. Плата формирователя импульсного напряжения и устройства управления

водник), вход C (вывод 3) триггера DD10.1 соедините непосредственно с выходом блока образцовых частот (вывод 5 DD9), что равнозначно установке переключателя SA1 в положение «×1 Гц», и одновременно с разъемом XS1. Теперь индикатор HG1 будет периодически, примерно через 1,5...2 с (в зависимости от длительности зарядки времязадающего конденсатора C3), высвечивать цифру 1 (1 Гц).

При соединении разъема с выходом микросхемы DD8 блока образцовых частот индикаторы HG1 и HG2 должны высвечивать число 10 (10 Гц). Если же разъем соединить с выходом микросхемы DD7, индикаторы станут высвечивать число 100 (100 Гц).

После этого подайте на вход частотомера переменное напряжение сети, пониженное трансформатором до 1...3 В,— индикаторы зафиксируют частоту 50 Гц.

После испытания блоков частотомера прикрепите платы к пластине листового гетинакса (можно текстолита или другого изоляционного материала) в соответствии с рис. 52, а пластину укрепите на дне шасси. Соедините платы между собой и с другими деталями частотомера, установленными на лицевой и задней стенках шасси, многожильными монтажными проводниками в поливинилхлоридной изоляции.

Окончательно проверьте работу прибора в режимах «Счет» и «Измерение». Источниками сигнала по-прежнему могут служить импульсы, снимаемые с разных ступеней делителя блока образцовых частот.

Какие изменения, дополнения можно внести в цифровой частотомер?

Начнем с формирователя импульсного напряжения, от которого в значительной степени зависят чувствительность и четкость работы измерительного прибора в целом. Может случиться, что в вашем распоряжении не окажется микросхемы К155ЛД1, представляющей собой два четырехвходовых расширителя по ИЛИ, которые во входном блоке частотомера работают в триггерном режиме. Эту микросхему можно заменить одним из триггеров Шмитта микросхемы К155ТЛ1, если дополнить его однотранзисторным усилительным каскадом. Без предварительного усиления напряжения измеряемой частоты чувствительность частотомера будет хуже, чем с формирователем на микросхеме К155ЛД1.

Схему такого варианта входного блока частотомера вы видите на рис. 57. Переменное напряжение измеряемой частоты через резистор R1 и конденсатор C1 подается на базу транзистора VT1 усилительного каскада, а с его нагрузочного резистора R4 — на вход триггера Шмитта DD1.1. Формируемые триггером импульсы, частота следования которых соответствует частоте входного сигнала, снимаются с его выходного вывода 6 и далее поступают на входной вывод 2 электронного ключа DD11.1 управляющего устройства частотомера.

Какова роль кремниевого диода VD1 и резистора R1 на входе прибора? Диод ограничивает отрицательное напряжение на эмиттерном переходе транзистора. Пока напряжение входного сигнала не превышает 0,6...0,7 В, диод практически закрыт и не оказывает никакого влияния на работу транзистора как усилителя. Когда же амплитуда измеряемого сигнала оказывается больше этого порогового напряжения, диод при отрицательных полупериодах открывается и таким образом поддерживает на базе транзистора напряжение, не превышающее 0,7...0,8 В. А резистор R1 предотвращает протекание через диод опасного для него тока при входном сигнале повышенного напряжения.

Конденсатор C2 блокирует усилительный каскад и микросхему формирователя по цепи питания.

Налаживание формирователя сводится к подбору резистора R2. Добиваются, чтобы на коллекторе транзистора

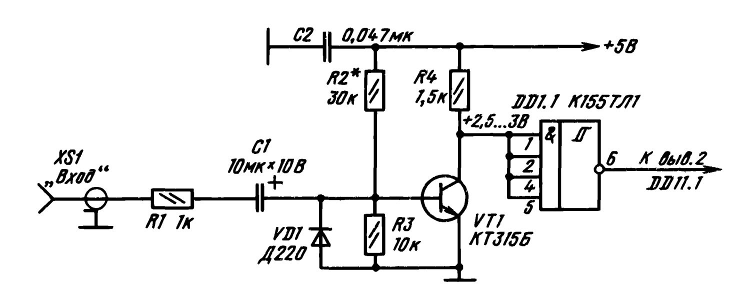


Рис. 57. Формирователь импульсного напряжения на триггере Шмитта микросхемы К155ТЛ1

(относительно общего провода) было напряжение 2,5...3 В.

Чувствительность частотомера с таким формирователем импульсного напряжения будет не менее 50 мВ, что более чем на порядок лучше, чем с формирователем на микросхеме К155ЛД1.

Схема другого варианта формирователя, обеспечивающего частотомеру примерно такую же чувствительность, показана на рис. 58. Его входная цепь и усилитель — такие же, как в формирователе предыдущего варианта. А функцию самого формирователя импульсного напряжения из усиленного сигнала выполняет триггер Шмитта на логических элементах DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ЛА3. Подобный триггер Шмитта уже использовался вами в простом частотомере со стрелочным индикатором на выходе (см. рис. 24). Инвертор DD1.3 улучшает форму импульсов, подаваемых на вход электронного ключа устройства управления.

Итак, еще два возможных варианта формирователя импульсного напряжения, отличающихся один от другого используемыми в них микросхемами, но практически одинаковых по чувствительности. На каком из них остановиться, если не окажется микросхемы К155ЛД1 и, кроме того, пожелаете улучшить чувствительность частотомера? Решить этот вопрос можно опытным путем: испытать в работе оба варианта и монтировать тот из них, с которым частотомер работает четче. Выбору может помочь электронный осциллограф, на экране которого можно наблюдать формируемые импульсы. Предпочтение следует отдать формирователю, фронты и спады выходных импульсов которого круче, имеющие одинаковые длительности самих импульсов и пауз между ними.

Может случиться, что при измерении частоты более нескольких килогерц будут наблюдаться мерцания светящихся цифр индикаторов и, кроме того, прибор иногда будет показывать в два раза большую частоту. В чем причины этих явлений и как их устранить, если, конечно, они наблюдаются в готовом частотомере или появятся позже?

В описанном частотомере время индикации результата измерения зависит от положения переключателя SA1 «Диапазон». При частоте тактовых импульсов более 1 кГц, поступающих от блока образцовых частот на вход управляющего устройства, конденсатор С3 не всегда успевает полностью разрядиться за время между двумя соседними импульсами, из-за чего при следующем цикле работы он начинает заряжаться с более высокого напряжения на нем. В результате время индикации (см. рис. 49, *в* и *ж*) уменьшается и свечение индикаторов начинает мерцать.

Причина второго явления — некоторая нестабильность конечной длительности сигнала «сброс» (см. рис. 49,*е*) устройства управления в исходное состояние. По фронту этого импульса триггер DD10.2 переключается в нулевое состояние и напряжение высокого уровня на его инверсном выходе (вывод 8) разрешает работу триггера DD10.1. И если тактовый импульс образцовой частоты поступит на вход С этого триггера в промежуток времени, когда сигнал сброса еще не закончился, то триггер DD10.1 переключится в единичное состояние, начнется счет входных импульсов, на что триггер DD10.2 своевременно не среагирует, так как после такого цикла работы сигнала сброса не будет. В итоге индикаторы будут фиксировать сумму частот измеренного сигнала и показания «внепланового» цикла работы управляющего устройства.

Оба эти недостатка нетрудно устранить введением в устройство управления еще одного D-триггера, DD10.1′, выделенного на рис. 59 утолщенными линиями. В таком случае с появлением сигнала «сброс» работа триггера DD10.1 еще запрещена напряжением низкого уровня, поступающим на его вход R с выхода

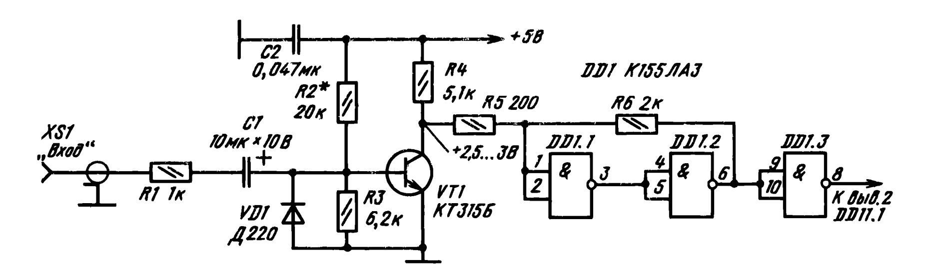


Рис. 58. Схема формирователя импульсного напряжения на логических элементах микросхемы К155ЛА3

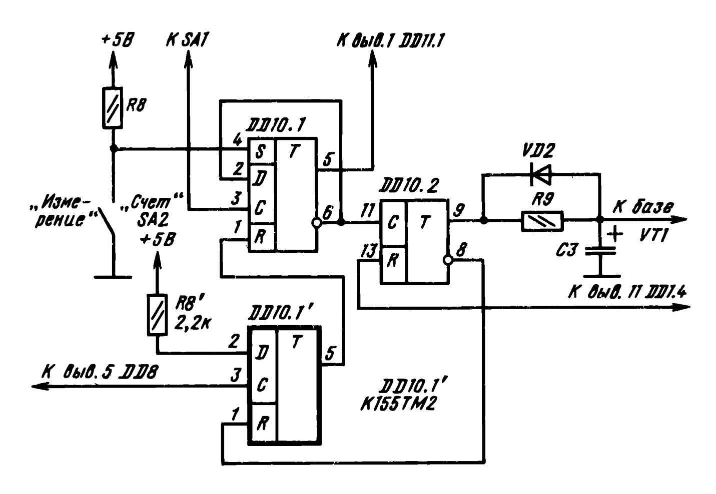


Рис. 59. Схема устройства управления с дополнительным D-триггером

триггера DD10.1'. Разрешение на его работу дает дополнительный триггер по окончании импульса, приходящего на его вход С. Период следования этих импульсов должен быть таким, чтобы во время пауз между ними конденсатор С3 успевал полностью разрядиться. Эта задача решается подачей на вход С триггера DD10.1' импульсов частотой следования 10 Гц, снимаемых с вывода 5 счетчика DD8 блока образцовых частот.

Блок цифровой индикации частотомера трехразрядный, что, конечно, создает некоторые неудобства пользования прибором, о чем мы уже говорили ранее. Но так сделано исключительно с целью упрощения, уменьшения числа используемых микросхем и знаковых индикаторов. Чтобы измерительный прибор стал четырехразрядным, его надо дополнить комплектом микросхем и индикатором, соответствующим комплекту деталей одного разряда, как показано на схеме рис. 60. Счетчик DD18, дешифратор DD19 и индикатор HG4, образующие четвертый разряд (теперь он будет старшей счетной ступенью и в конструкции находиться крайним левым), соединяют между собой так же, как детали других разрядов. Вход С1 (вывод 14) счетчика этого разряда соединяют с выходом 8 (вывод 11) счетчика DD16 третьего разряда, а его

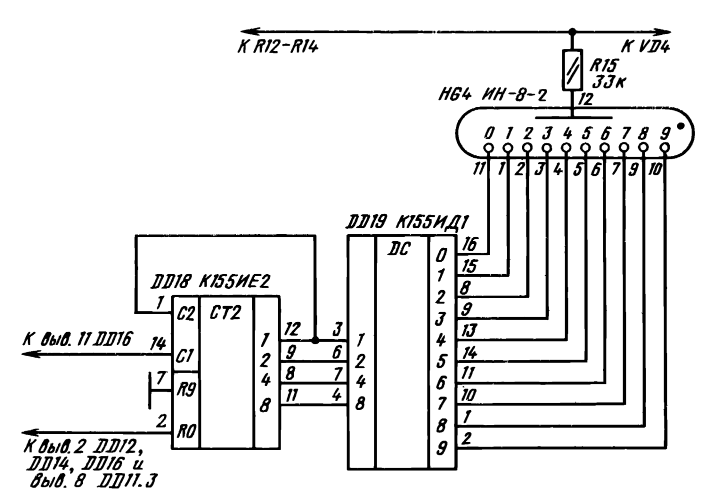


Рис. 60. Схема дополнительной счетной ступени блока цифровой индикации

вход R0 (вывод 2) — с аналогичными входами всех других счетчиков блока индикации. Питание на анод индикатора HG4 подают, как и на аноды других индикаторов, через ограничительный резистор R15 такого же номинала.

При желании и наличии деталей блок цифровой индикации можно дополнить еще одной счетной ступенью — пятой. Но, как показывает радиолюбительская практика, в этом особой необходимости нет.

Следующий вопрос, который мы предвидим: какие знаковые индикаторы, кроме ИН-8-2, подойдут для частотомера? Любые другие индикаторы тлеющего разряда, например ИН-2, ИН-14, ИН-16. Надо только при монтаже учитывать соответствующую им цоколевку. Распознать же или уточнить цоколевку используемого индикатора нетрудно опытным путем, подавая на выводы его электродов постоянное или пульсирующее напряжение 150...200 В (через ограничительный резистор сопротивлением 33...47 кОм). За исходный удобно принять вывод анода — он хорошо просматривается через стеклянный баллон индикатора. Соединив с ним плюсовой проводник источника напряжения, отрицательным проводником источника касайтесь поочередно других выводов. При этом будут светиться цифры, соответствующие цоколевке проверяемого индикатора.

И еще один вопрос, касающийся выбора кварцевого резонатора. Генератор блока образцовых частот — «сердце» частотомера, от ритмичности которого зависит точность измерений. Поэтому его работа стабилизируется кварцевым резонатором. В принципе, частоту генератора можно стабилизировать, например, частотой переменного напряжения электроосветительной сети (как это сделано в описанном выше реле времени). Но она, к сожалению, в разное время суток может отличаться от 50 Гц на 0,5...1 Гц. Соответственно будет «плавать» частота генератора и, следовательно, погрешность измерений. В результате цифровой частотомер утратит свои достаточно высокие качества.

Вот почему без резонатора не обойтись. А как быть, если резонатора на частоту 8 МГц, использованного в описанном частотомере, нет? Подойдет любой другой кварцевый резонатор. Конечно, лучше использовать резонатор на частоту 1 МГц, потому что в этом случае отпадает надобность в микросхеме DD3 первой ступени делителя, и сигнал с выхода генератора можно подать сразу на вход микросхемы DD4. Подойдет также кварцевый резонатор на частоту 100 кГц — тогда можно исключить и микросхему DD4. В обоих случаях делитель блока образцовых частот упростится.

А если и таких кварцевых резонаторов нет? Тогда используйте любой другой с резонансной частотой от 0,1 до 10 МГц. Вот конкретный пример. Допустим, есть резонатор на частоту 1,96 МГц (1960 кГц). В таком случае делитель до целого кратного числа 10 кГц можно построить по схеме, приведенной на рис. 61. Сам генератор остается без изменений. Его частоту, равную 1960 кГц, JK-триггер 2, а счетчики DD2 и DD3 совместно с микросхемой DD4 делит на К155ЛА1 (два логических элемента 4И-НЕ) дополнительно еще на 98 (2×7×7). В результате на выходе трех ступеней делителя формируются импульсы частотой 10 кГц, которые надо подавать непосредственно на вход S микросхемы DD6 делителя конструируемого частотомера.

Как видите, при использовании практически любого кварцевого резонатора надо лишь изменить построение первых ступеней делителя частоты. В этом вам поможет соответствующая справочная литература.

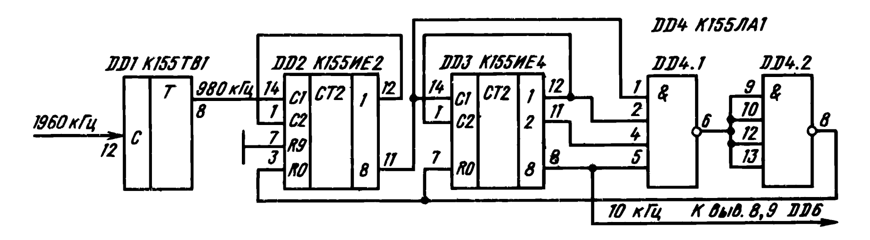


Рис. 61. Схема делителя частоты генератора с кварцевым резонатором на 1,96 МГц

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ ИЗ ДЕТАЛЕЙ РАДИОКОНСТРУКТОРА

Для радиолюбителей, интересующихся цифровой техникой и желающих на практике познакомиться с большими интегральными микросхемами, некоторые промышленные предприятия страны выпускают наборы деталей для самостоятельной сборки электронных часов в любительских условиях. С одним из таких радиоконструкторов, названных заводом-изготовителем конструкторским набором «Электроника-1», мы и хотим познакомить вас в этом заключительном разделе книги.

Знакомство с устройством и работой электронных часов, которые можно собрать из такого радиоконструктора, начнем с их функциональной схемы, изображенной на рис. 62. Основой часов служит большая интегральная микросхема DD (на рис. 62 обведена штрихпунктирными линиями), содержащая блок опорной частоты кварцевого генератора G и оперативное устройство ОУ, к которой подключают цифровые индикаторы HG1—HG4, блок управления часами БУ и акустический преобразователь НА. Преобразователь напряжения ПН внешнего источника постоянного тока обеспечивает питанием все элементы часов.

Блок опорной частоты кварцевого генератора часов по своему функциональному назначению аналогичен блоку образцовых частот описанного выше реле времени. А оперативное устройство, управляющее цифровыми индикаторами, обеспечивает работу электронных часов как секундомера и будильника.

В конструкторский набор «Электроника-1» входят: многофункциональная интегральная микросхема КА1016ХЛ1 (или ЧБ-32), кварцевый резонатор РК-72ЧА-17БУ, пьезокерамический звонок типа ЗП-1, цифровые индикаторы ИВ-ЗА (или ИВ-6), печатная плата, кнопочные выключатели П2К, резисторы, конденсаторы и другие необходимые детали и

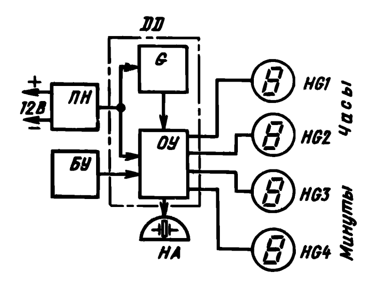


Рис. 62. Структурная схема электронных часов

материалы. Обладателю набора надо только разобраться в назначении узлов и элементов часов, смонтировать детали на плате и по своему вкусу сделать корпус для них. Источником питания может служить аккумуляторная батарея напряжением 12 В (если часы предполагается установить в автомобиле) или выпрямитель с таким же выходным напряжением постоянного тока. Потребляемый ток от источника напряжением 12 В не превышает 200 мА. Точность хода часов не хуже ±1 с в сутки.

Принципиальная схема часов приведена на рис. 63. Источником питания микросхемы DD1 служит стабилизатор напряжения, образованный стабилитроном VD1 и транзистором VT1. Стабилизированное напряжение 15 В подается на ее выводы 15 и 12. Общим выводом по цепи питания микросхем является вывод 12. Частота кварцевого резонатора ZQ1, а значит и генератора опорной частоты, равна 32 768 Гц. Элементами делителя, входящими в микросхему, она делится до 1 Гц, что соответствует 1 с. Кнопочные выключатели SB1—SB5 образуют блок управления оперативным устройством микросхемы, которое обеспечивает динамический режим работы цифровых индикаторов HG1—HG4.

Индикатор ИВ-3 представляет собой электронную лампу с катодом прямого накала (выводы 7, 8), восемью анодами с отдельными выводами (1—6, 10 и 11) и общей управляющей сеткой (вывод 9). Семь анодов выполнены в виде узких полосок, образующих стилизованную цифру 8, а восьмой — в виде точки. Аноды покрыты тонким слоем люминофора. При подаче положительного напряжения на сетку и элементы-аноды индикатора между катодом и анодами возникает поток электронов, вызывающий свечение, люминофора.

В часах одноименные элементы-аноды цифровых знаков всех индикаторов соединены между собой и подключены к соответствующим выводам микросхемы. На них в определенные моменты с оперативного устройства подается закодированный сигнал, синтезирующий один из элементов цифр. Одновременно на сетки индикаторов подается управляющий сигнал. В результате одновременного воздействия сигналов кода и управляющего на индикаторах высвечиваются цифры от 0 до 9. Индикаторы HG1 и HG2 высвечивают часы, а HG3—HG4 — минуты текущего времени. Знак точки во втором индикаторе, отделяющий значения часов от минут, горит постоянно. Аналогичные знаки в остальных индикаторах не используются.

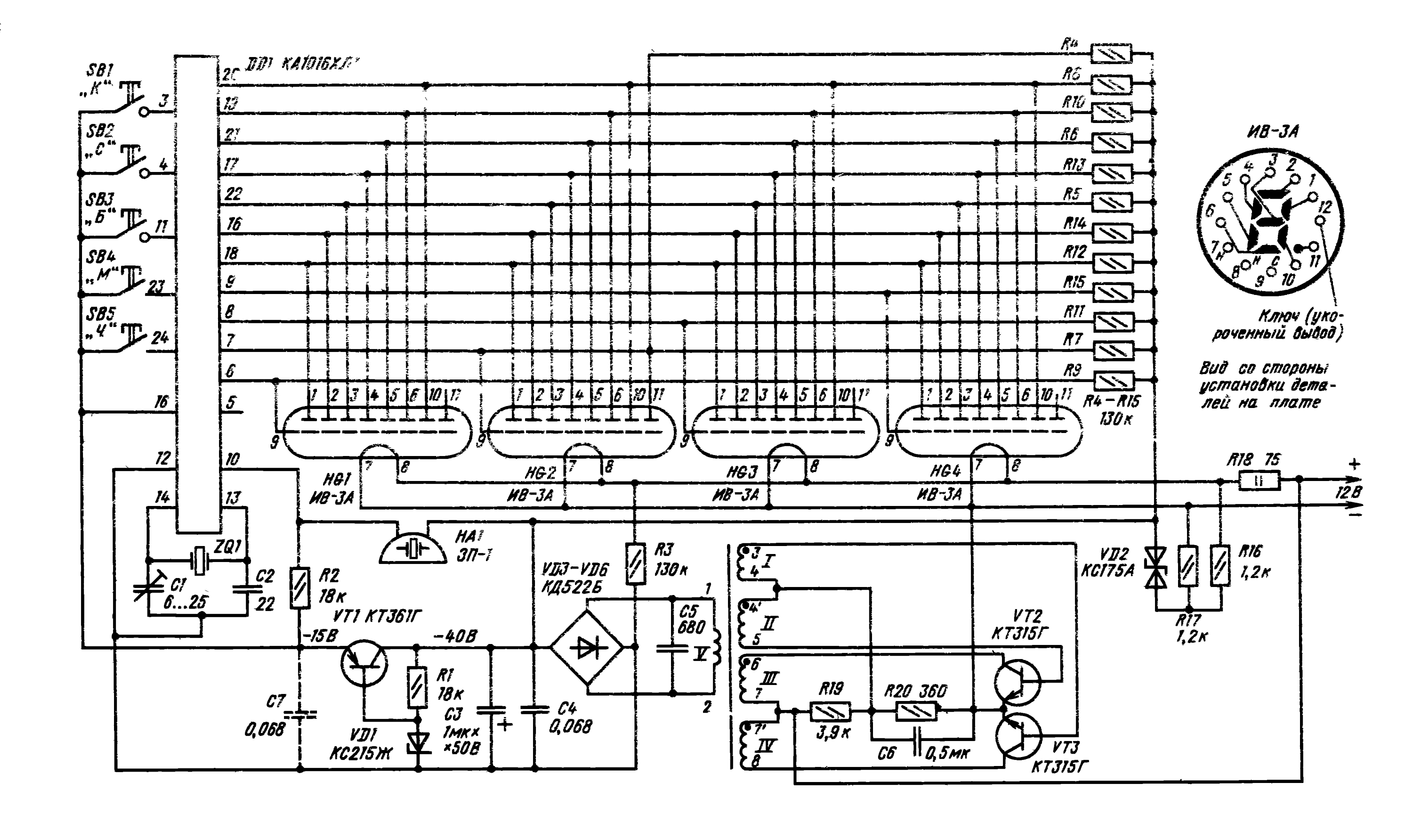


Рис. 63. Принципиальная схема электронных часов

Нажатием на кнопку SB1 «К» блока управления корректируют показание индикаторами текущего времени и времени автоматического включения звукового сигнала будильника. Кнопкой SB5 «Ч» устанавливают часы, а кнопкой SB4 «М» — минуты текущего времени. Кнопка SB1 «С» служит для перевода часов в режим счета секунд текущего времени и на работу как секундомера с нулевых значений времени. Кнопкой SB3 «Б» включают ждущий режим будильника, при совпадении предварительно установленного и текущего времени пьезокерамический звонок HA1, подключенный к выводу 10 микросхемы, издает звуковой сигнал частотой около 2 кГц. Подстроечным конденсатором C1, входящим в кварцевый генератор, можно корректировать точность «хода» часов.

Нити накала знаковых индикаторов рассчитаны на питание напряжением 0,85...1,15 В при токе 45...55 мА каждая. В часах они соединены параллельно и питаются от источника напряжением 12 В через гасящий резистор R18. Делитель напряжения R16R17 и двуханодный стабилитрон VD2 образуют среднюю точку нитей накала, относительно которой на аноды и сетки индикаторов подается (через резисторы R4 — R15) отрицательное напряжение, снимаемое с выхода выпрямителя преобразователя напряжения, устраняющее мерцание выключаемых элементов индицирующихся цифр.

Трансформатор TS1 и транзисторы VT2, VT3 образуют двухтактный преобразователь постоянного напряжения внешнего источника питания в переменное напряжение частотой около 2 кГц. Отрицательное напряжение внешнего источника подается непосредственно на эмиттеры транзисторов, а положительное — на коллекторы через обмотки III и IV трансформатора TS1. Напряжение, снимаемое с резистора R20 делителя R19R20, через обмотки I и II подается на базы транзисторов, создает на них положительное (относительно эмиттеров) смещение и тем самым обеспечивает запуск преобразователя. В результате действия положительной отрицательной связи между коллекторными и базовыми цепями транзисторов устройство возбуждается. При этом в обмотке V трансформатора наводится переменное напряжение прямоугольной формы, которое выпрямляется диодами VD3 — VD6, включенными по мостовой схеме, и далее стабилизируется стабилитроном VD1 и транзистором VT1.

Внешний вид часов, смонтированных на печатной плате, показан на рис. 64.

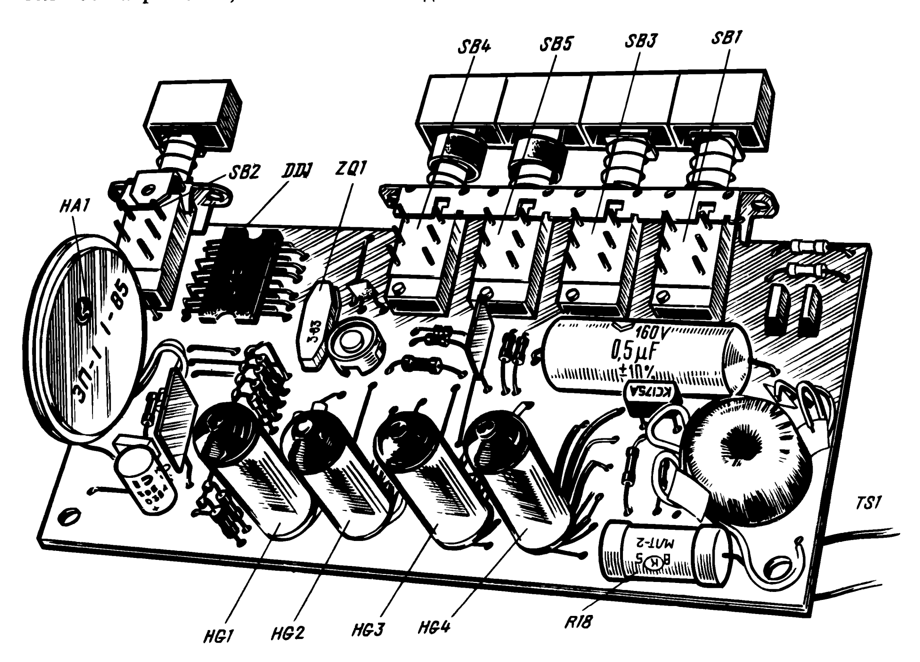


Рис. 64. Монтаж деталей часов на плате

На плате со стороны деталей установлены дополнительные проволочные перемычки (11 шт.), соединяющие печатные проводники. Резисторы R4—R15 смонтированы в вертикальном положении. Их верхние выводы соединены отрезком монтажного провода, который припаян к контактной площадке печатного проводника, идущего к анодам диодов VD2 и VD4, двуханодному стабилитрону VD2 и (через проволочную перемычку) к коллектору регулирующего транзистора VT1 стабилизатора напряжения. Чтобы предотвратить соединения выводов индикаторов между собой, на них надеты отрезки изоляционной трубки. Под кварцевый резонатор подложена текстолитовая шайба (входит в набор).

Магнитопроводом трансформатора TS1 преобразователя напряжения служит ферритовое кольцо М200НМ типоразмера К16×10×4,5 (входит в набор). Обмотки I и II содержат по 20 витков, III и IV—по 65 витков, обмотка V—225 витков провода ПЭВ-2 0,14. На схеме начала обмоток обозначены точками. Провода обмоток I—IV укладывают на тело кольца в одном направлении, при этом обмотка II должна быть продолжением обмотки I, а обмотка IV—продолжением обмотки III.

Чтобы избежать встречного включения обмоток, каждую пару обмоток (I и II, III и IV) рекомендуется наматывать одним отрезком провода соответствующей длины, сложенным вдвое, а после намотки разрезать и соединить его части так, чтобы одна из обмоток была продолжением второй. Место соединения будет отводом от середины последовательно соединенной пары обмоток (для обмоток I и II—отвод 4, для обмоток III и IV—отвод 7).

Сначала ферритовое кольцо по всему диаметру оберните полоской лакоткани шириной 5 мм, закрепите ее конец клеем БФ-2 и, пользуясь проволочным челноком, намотайте провод обмоток I и II. Затем оберните их полоской лакоткани и намотайте обмотки III и IV. Последним наматывайте провод обмотки V. Предварительно оберните лакотканью предыдущие обмотки, а потом и обмотку V.

Готовый трансформатор закрепите на плате клеем БФ-2 (использовать для крепления металлические скобы, хомуты или шпильки нельзя) и припаяйте его выводы к соответствующим токонесущим контактным площадкам платы.

Микросхему монтируйте на плате в последнюю очередь, принимая при этом меры, исключающие возможный выход ее из строя из-за попадания на выводы электростатического заряда, перегрева во время пайки. Чтобы не допустить случайного пробоя микросхемы статическим электричеством, надо, чтобы электрические потенциалы монтажной платы, паяльника и тела самого монтажника были одинаковыми. Для этого на пластмассовую (или деревянную) ручку паяльника наматывают несколько витков неизолированного провода или укрепляют на ней жестяную пластинку и через резистор сопротивлением 100...200 кОм соединяют (провод или пластинку) с жалом и всеми другими металлическими частями паяльника. При монтаже свободной рукой следует держаться за токонесущий проводник питания монтажной платы. Длительность касания паяльником каждого вывода микросхемы не должна превышать 3 с, а сам паяльник в это время должен быть отключен от сети. Невыполнение этих в общем-то несложных требований может пагубно сказаться на микросхеме.

Закончив монтаж, тщательно сверьте его с принципиальной схемой часов, металлической иглой или чистой безворсовой материей удалите с печатной платы грязь, остатки флюса, капельки припоя между токонесущими печатными проводниками и площадками и только после этого подключайте к часам источник питания. Внешним источником питания может быть практически любой двухполупериодный выпрямитель с выходным напряжением около 12 В при токе нагрузки не менее 200 мА. Можно использовать, например, выпрямитель сетевого блока питания (см. рис. 20), снимая напряжение непосредственно с его фильтрующего конденсатора C1.

Сразу же после подключения внешнего источника питания в индикаторах должны появиться случайные цифры, что является признаком работоспособности часов. Для обнуления и запуска часов надо одновременно нажать кнопки SB1 «К» и SB2 «С», а затем отжать кнопку «К». С этого момента начинается отсчет секунд—часы работают как секундомер. Далее надо отжать кнопку «С» и одновременным или раздельным нажатием на кнопки SB5 «Ч», SB4 «М» установить на индикаторах часы и минуты текущего времени. Если после этого снова нажать кнопку «С», индикаторы будут показывать секунды текущего времени.

Чтобы установить время подачи звукового сигнала (будильника), необходимо нажать кнопку SB3 «Б», поочередным нажатием кнопок «Ч» и «М» установить на блоке индикаторов это время и отжать кнопку «Б». При совпадении текущего времени со значением установленного должен включиться прерывистый сигнал будильника, отключить который можно нажатием на кнопку «Б».

Для использования часов в качестве секундомера нужно при нажатой кнопке «С» нажать и тут же отжать кнопку «К». Но при этом происходит сброс текущего времени. Его значение восстанавливают кнопками «Ч» и «М».

Может случиться, что светящиеся цифры в индикаторах будут мерцать, а пьезокерамический звонок издавать непрекращающиеся беспорядочные звуки. Причина тому — возбуждение микросхемы. Чтобы устранить это явление, надо цепь питания микросхемы заблокировать керамическим конденсатором емкостью 0,047 или 0,068 мкФ, включив его между выводами 12 и 15 или параллельно выходу стабилизатора напряжения (на рис. 63 показанный штриховыми линиями конденсатор С7).

И еще один незначительный недостаток был замечен в работе смонтированных нами часов из радиоконструктора «Электроника-1» — заметный на слух непрерывающийся звук невключенного пьезокерамического звонка. Причина — недостаточное сглаживание пульсаций тока на выходе двухполупериодного выпрямителя VD3 — VD6. Для его устранения надо электролитический конденсатор С3 заменить или подключить параллельно ему конденсатор емкостью 5...10 мкФ на номинальное напряжение не менее 50 В.

Если в процессе эксплуатации часы будут «убегать» или, наоборот, «отставать», скорректировать их «ход» можно подстройкой частоты генератора конденсатором С1.

Конструкция футляра часов произвольная. Прямоугольное отверстие в его лицевой стенке, через которое видны индикаторы, желательно прикрыть органическим стеклом или пленкой синего или зеленого цвета.

Список литературы

1. **Микросхемы** и их применение: Справочное пособие.— М.: Радио и связь, 1983.
2. **Бирюков С. А.** Цифровые устройства на интегральных микросхемах.— М.: Радио и связь, 1984.
3. **Пономарев Л. Д., Евсеев А. Н.** Конструкции юных радиолюбителей.— М.: Радио и связь, 1984.
4. **Мальцева Л. А., Фромберг Э. М., Ямпольский В. С.** Основы цифровой техники.— М.: Радио и связь, 1986.
5. **Интегральные** микросхемы: Справочник / Под ред. Б. В. Тарабрина — М.: Радио и связь, 1983.

СОДЕРЖАНИЕ

45 к.



Введение в цифровую технику

Издательство «Радио и связь»